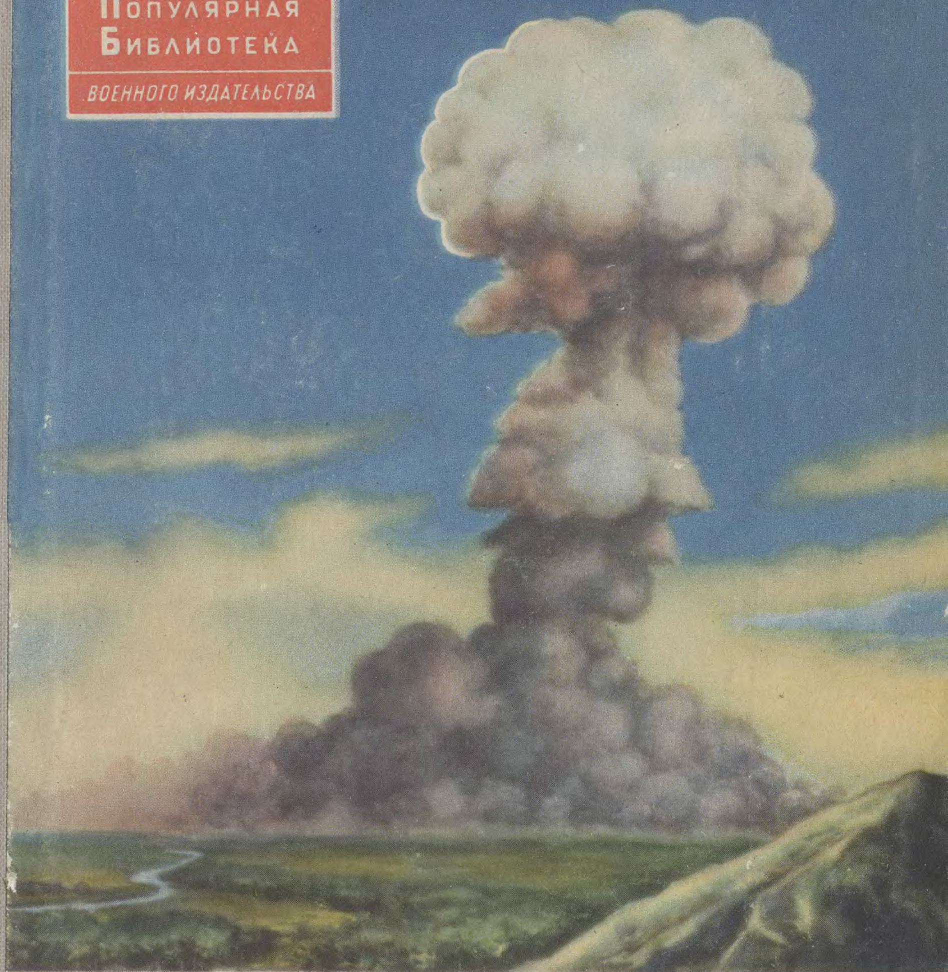
А. И. ИВАНОВ Г. И. РЫБКИН ПОРАЖАЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ ЯДЕРНОГО ВЗРЫВА



А. И. Иванов, Г. И. Рыбкин

ПОРАЖАЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ ЯДЕРНОГО ВЗРЫВА

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ БИБЛИОТЕКА

А. И. ИВАНОВ, Г. И. РЫБКИН

ПОРАЖАЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ ЯДЕРНОГО ВЗРЫВА



ВОЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ СОЮЗА ССР
Москва — 1960

ОТ ИЗДАТЕЛЬСТВА

Книга «Поражающее действие ядерного взрыва» написана по материалам, опубликованным в иностранной печати. В ней дается описание поражающих факторов ядерного оружия. Авторы знакомят читателя и со способами защиты от ядерного оружия. В книге подробно и доступно излагаются физические основы устройства атомных и термоядерных боеприпасов, рассматриваются физическая сущность различных поражающих факторов и простейшие способы расчета размеров зон поражения.

Основной материал книги рассчитан на широкий круг читателей — воинов Советской Армии и Военно-Морского Флота, а также членов ДОСААФ, знакомых с основами физики и математики. Некоторая, небольшая часть книги может заинтересовать более подготовленных военных и гражданских специалистов. При чтении книги менее подготовленным читателем сложные вопросы могут быть пропущены без ущерба для понимания содержания книги в целом.

ное оружие, основанное на этом принципе, в иностранной печати называется докритическим. В докритическом атомном оружии удалось значительно повысить процент использования делящегося материала. Отмечается, что именно таким путем удалось повысить количество материала, претерпевающего деление, до 20% и более вместо 2—5%, имевших место в первых атомных бомбах.

Следует отметить также, что успешное осуществление ядерного взрыва основано на чрезвычайно большой скорости нарастания цепной реакции на быстрых нейтронах. Если бы скорость реакции не была так велика, то чрезвычайно большие ускорения (порядка 10^{12} м/сек^2), которые сообщаются оболочке бомбы, привели бы к значительному ее расширению, в результате чего уменьшилась бы плотность делящегося материала внутри оболочки. Это в свою очередь привело бы к прекращению цепной реакции по причинам, которые уже были указаны выше.

При огромных давлениях, создающихся при ядерных взрывах, скорость разрушения оболочки, которая удерживает делящееся вещество в компактном виде, зависит только от ее массы (то есть от ее инерционных свойств); прочность же материала оболочки играет ничтожную роль. Величина критической массы для материала, применяемого в качестве заряда, зависит также от его способности делиться нейтронами различных энергий. Оказывается, что у урана 233 и плутония эта способность выше, чем у урана 235, поэтому критическая масса заряда из урана 233 и плутония меньше критической массы урана 235.

Приведем некоторые данные о величине критических масс.

В настоящее время в иностранной литературе опубликован ряд данных о величине критических масс делящихся веществ. Наиболее подробные данные имеются по зарядам, состоящим из урана 235. Например, согласно журналу «Nucleonics» [1] критическая масса сферического заряда (93,5% урана 235 и 6,5% урана 238) при плотности 18,8 г/см^3 равна 48 кг. Радиус сферы этого заряда равен около 8,5 см. За счет отражателя нейтронов критическая масса может быть уменьшена в несколько раз. Согласно табл. 1, приведенной там же, наиболее эффек-

---

1 «Nucleonics», 1957, № 6, June.

тивными являются отражатели, выполненные из таких веществ, как бериллий, вольфрам, природный уран. В качестве менее эффективных отражателей могут применяться также графит, медь, железо, алюминий, цинк и др.

Однако и при использовании железного отражателя достаточно большой толщины (порядка 10 см) критическая масса может быть уменьшена, как это следует из табл. 1, почти в два раза.

Таблица 1

Критическая масса (в килограммах) сферического заряда из урана (93,5% урана 235 и 6,5% урана 238) при наличии отражателя

Материал отражателя	Плотность вещества отражателя, г/см³	Толщина отражателя	
		5 см	10 см
Бериллий	1,84	20,8	14,1
Природный уран	19,0	23,5	18,4
Вольфрам	17,4	24,1	19,4
Графит	1,69	29,5	24,2
Медь	8,88	25,4	20,7
Железо	7,87	29,3	25,3
Алюминий	2,7	35,5	32,0

Из статьи в журнале «Nucleonics» также следует, что толщину отражателя больше 10 см с точки зрения уменьшения критической массы делать нецелесообразно, так как дальнейшее увеличение толщины не приводит к существенному увеличению эффективности работы отражателя.

В статье журнала «Nucleonics» приводится график (рис. 6), который иллюстрирует влияние процентного содержания урана 235 на величину критической массы сферического заряда без отражателя и с толстым отражателем. Интересно отметить, что при концентрации урана 235 менее 6% самоподдерживающаяся реакция на быстрых нейтронах становится невозможной при сколько угодно большой массе заряда. Отсюда следует также, что самоподдерживающаяся реакция тем более невозможна в природном уране, в котором урана 235 содержится всего лишь около 0,7%. В то же время для реакций на медленных нейтронах (за счет введения в ядерное горючее специального замедлителя нейтронов) даже при сравнительно небольшом обогащении природного

урана критическая масса может составлять несколько килограммов. Однако реакция на медленных нейтронах, несмотря на то что они позволяют резко сократить расход урана 235, не может быть использована в ядерном оружии вследствие медленного ее протекания.

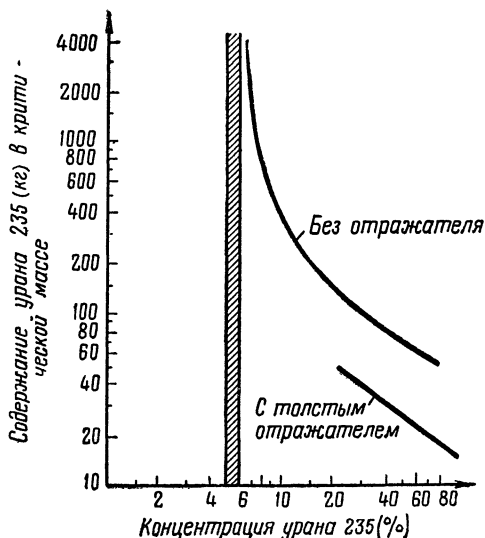


Рис. 6. Зависимость содержания урана 235 (в кг) в критической массе от его концентрации (в %)

С увеличением плотности делящегося вещества, как отмечается в иностранной печати, критическая масса заряда с толстым отражателем меняется обратно пропорционально плотности в степени 1, 2, то есть несколько медленнее, чем для заряда без отражателя.

О величине критических масс плутония и урана 233 имеется мало опубликованных в печати данных. Известно только, что их критические массы приблизительно равны и для заряда без отражателя составляют около 5—6 кг [1]. При введении отражателя критическая масса этих веществ уменьшается приблизительно в таком же отношении, как и для урана 235.

---

[1] Ф. Рэн. Атомная проблема. Перевод с французского. Издательство иностранной литературы, 1958.

ГЛАВА II

УДАРНАЯ ВОЛНА ЯДЕРНОГО ВЗРЫВА

1. Возникновение при взрыве воздушной ударной волны

Различные способы передачи действия взрыва на расстояние. Ударные волны, возникающие при ядерных взрывах, имеют очень много общего с ударными волнами при обычных взрывах. Поэтому основные свойства ударных волн и условия их возникновения удобно рассмотреть сначала при взрыве зарядов обычных взрывчатых веществ.

Прежде всего необходимо учесть, что при взрыве взрывчатые вещества практически мгновенно превращаются в газы. Газы первоначально имеют очень высокое давление и разогреты до высокой температуры. Поэтому взрывные газы и расширяются с очень большими скоростями (при соответствующих условиях до 5—8 км в секунду). Если поток быстро движущегося и довольно плотного газа встречает на своем пути какую-либо преграду, то он ударяет по ней с большой силой и может ее разрушить. Это одна форма действия взрыва на расстояние — с помощью расширяющихся взрывных газов.

Но если заряд взрывчатого вещества находится в достаточно прочной оболочке, например в стальном корпусе снаряда или авиабомбы, то первой преградой, встречаемой взрывными газами, будет металлическая стенка корпуса. Взрывные газы в этом случае при своем расширении могут производить на стенки корпуса снаряда или бомбы чрезвычайно высокое давление, измеряемое десятками и даже сотнями тысяч атмосфер. Такого

давления достаточно, чтобы полностью разрушить корпус снаряда или авиабомбы и превратить металл оболочки в сравнительно мелкие осколки. Эти осколки под воздействием продуктов взрыва (расширяющихся взрывных газов) разлетаются с весьма высокими скоростями (примерно 1—2 км в секунду). Множество разлетающихся осколков также переносят часть энергии взрыва. При этом осколки могут лететь гораздо дальше, чем распространяются расширяющиеся газы, и наносить сильное поражение людям, животным и технике. Летящие осколки пробивают тонкую броню; при пробивании емкостей с горючим осколки могут зажигать его и разбрызгивать в разные стороны. Очень быстрые осколки, попадая внутрь взрывчатого вещества, могут вызвать его детонацию. Таким образом, осколки также являются носителями разрушающего действия взрыва.

Наконец, расширяющиеся взрывные газы при своем движении оттесняют среду, окружающую заряд, вследствие чего образуется так называемая ударная волна.

Механизм образования воздушной ударной волны при взрыве обычного взрывчатого вещества можно себе представить следующим образом. В результате взрыва твердое (или жидкое) взрывчатое вещество в течение весьма краткого промежутка времени переходит в газообразное состояние. Газы, образующиеся при взрыве, обладают весьма высокой температурой и находятся под очень высоким давлением. Стремясь расшириться, они производят резкий удар по окружающим слоям воздуха, сжимая и нагревая их до высокой температуры. Будучи сильно сжаты и стремясь расшириться, сжатые слои воздуха оказывают резкое давление на следующие смежные слои воздуха, сильно их сжимая. Эти слои воздуха, стремясь расшириться, оказывают резкое давление на последующие слои воздуха, резко сжимая их, и т. д. Таким образом, в воздухе происходит со сверхзвуковой скоростью процесс распространения повышенного давления (температуры и плотности). Скачкообразное изменение давления (температуры и плотности), распространяющееся в воздухе со сверхзвуковой скоростью, и является воздушной ударной волной. Это третья форма переноса действия взрыва с помощью ударной волны. Ударные волны могут образовываться указанным выше способом не только в воздухе, но и в воде и в грунте. Однако при

взрыве в грунте имеются некоторые особенности передачи действия взрыва на расстояние в виде волны сжатия.

Итак, имеются три основных носителя действия взрыва, передающие его на то или иное расстояние, а именно: взрывные газы, осколки корпуса заряда, ударная волна.

Кроме этих основных носителей действия взрыва, могут быть и случайные, например местные предметы, камни, комья земли, обломки зданий и т. п., которые могут быть сорваны с места действия взрыва и получить при этом значительные скорости. Удар таких предметов, брошенных при взрыве, также может наносить поражение. С этим на практике надо считаться.

В тех случаях, когда происходит взрыв ядерных зарядов, энергия в окружающее пространство передается не только указанными выше носителями, но также в виде светового и ядерного излучений.

Ударная волна как основной носитель действия взрыва мощных зарядов в воздухе и воде. Значение перечисленных выше носителей действия взрыва неодинаково.

Осколки могут иметь значение при толстостенных корпусах зарядов, когда вес металла корпуса в несколько раз превышает вес заряда взрывчатого вещества. Это происходит у осколочных и осколочно-фугасных снарядов и авиабомб. Если же корпус тонкий, то осколочное действие становится незначительным и большая доля энергии взрыва переходит в ударную волну. В данном случае ударная волна становится основным носителем действия взрыва. При взрыве ядерных зарядов энергия, выделяемая при взрыве, настолько велика, что происходит полное испарение оболочки и всего механизма заряда и вместо осколков получаются раскаленные газы, которые расширяются лишь на сравнительно малые расстояния. Поэтому их действие на более заметных расстояниях исчезает, а основным носителем действия ядерного взрыва становится ударная волна.

Если рассмотреть такую среду, как воду, то она значительно интенсивнее, чем воздух, тормозит взрывные газы и осколки. Ввиду того что плотность воды гораздо больше плотности воздуха, масса воды, вовлекаемая в движение ударной волной, превосходит во много раз массу воздуха в воздушной ударной волне.

Аналогичное явление происходит и при подземном взрыве, когда образуется волна сжатия в грунте.

Таким образом, из рассмотрения способов передачи действия взрыва на расстояние видно, что наиболее существенным является способ передачи действия взрыва ударной волной, в основном воздушной. Это вытекает из того, что обычно поражаемые взрывом предметы и сооружения находятся в воздушной среде, а такие заряды, как обычные мощные фугасные бомбы, атомные и водородные бомбы, предназначены в первую очередь для взрыва их в воздухе.

Образование ударной волны при взрыве обычных взрывчатых веществ. Рассмотрим вначале, как возникает воздушная ударная волна при обычном взрыве.

Взрывчатые вещества (тротил и др.), применяемые в промышленности и в военной технике, представляют собою довольно сложные химические соединения.

При взрыве детонатора образуются газы, которые с большой силой ударяют по ближайшим слоям взрывчатого вещества, окружающего детонатор. В результате этого молекулы взрывчатого вещества приходят в очень быстрое движение, начинают сильно соударяться друг с другом и претерпевают изменения.

В результате физико-химических превращений из вещества заряда образуются взрывные газы; при этом выделяется большое количество энергии, носителями которой и являются быстро движущиеся молекулы взрывных газов, находящиеся вначале под очень большим давлением.

Передача через массу заряда химической реакции взрывчатого разложения называется детонацией. Скорость распространения детонации весьма велика и находится в пределах от 4 до 8 км/сек. Чем больше скорость детонации, тем мощнее взрывчатое вещество и тем выше давление газов, получаемых при взрыве.

Давление взрывных газов в момент их образования выражается такой формулой:

$$P=\gamma \frac{D^2}{40}.$$

Здесь P — давление в кг/м^2 в зоне реакции разложения ВВ;
γ — удельный вес взрывчатого вещества в кг/м^3;
D — скорость распространения детонации в м/сек.

На основе приведенной формулы можно определить, например, давление взрывных газов, полученных при взрыве наиболее распространенного взрывчатого вещества — тротила.

У тротила скорость распространения детонации равна 7200 м/сек, удельный вес равен примерно 1600 кг/м³. Следовательно,

$$P = \frac{1600 \cdot 7200^2}{40} = 2\,073\,600\,000 \text{ кг/м}^2,$$

или 207 360 кг/см², что округленно составляет 200 тыс. атмосфер.

Такое громадное давление не может выдержать ни одна преграда. В результате взрывные газы начинают расширяться во все стороны. Если взрыв произошел в воздухе, то взрывные газы начинают расширяться во всех направлениях с первоначальной скоростью, близкой к скорости детонации.

При таком расширении взрывные газы оттесняют окружающий воздух, причем слой воздуха, примыкающий к взрывным газам, сам начинает двигаться с такой же скоростью, как эти газы. Скорость этого движения во много раз превосходит скорость распространения звука в воздухе, которая равна приблизительно 340 м/сек. Воздух, оттесняемый взрывными газами, сильно сжимается и разогревается до высокой температуры. Внешняя граница сжатого воздуха быстро движется вперед со скоростью, превосходящей даже скорость движения самих взрывных газов, и все более и более удаляется от границы этих газов, как показано на рис. 14. А это значит,

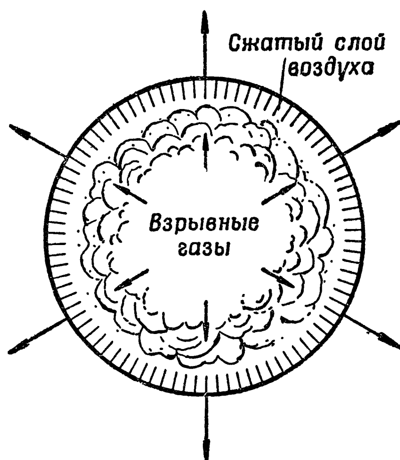


Рис. 14. Расширение взрывных газов и образование воздушной ударной волны

что скорость перемещения внешней границы сжатого воздуха превосходит скорость расширения границы взрывных газов.

Внешняя граница сжатого воздуха обладает некоторыми весьма существенными особенностями. Прежде всего следует отметить, что эта граница оказывается очень резкой. Если сжатую зону воздуха осветить кратковременной вспышкой электрической искры, то, несмотря на большую скорость движения зоны сжатия, можно получить весьма четкий ее фотоснимок. Такие фотоснимки показывают, что сжатая зона воздуха напоминает толстостенный стеклянный шар. Перемещающаяся область сильного сжатия воздуха, распространяющаяся во все стороны от центра взрыва со сверхзвуковой скоростью, называется воздушной ударной волной, а ее передняя граница, на которой происходит резкий скачок уплотнения воздуха, — фронтом ударной волны. Это сжатие быстро передается от одного слоя воздуха к другому.

Однако пока область сжатого воздуха подпирается расширяющимися взрывными газами, она еще не может считаться окончательно сформировавшейся.

По мере того как взрывные газы расширяются, скорость их собственного движения уменьшается. Энергия от этих газов переходит к движущемуся воздуху. В конце концов скорость взрывных газов приближается к нулю, а давление их вследствие сильного расширения падает ниже давления в окружающем атмосферном воздухе. Не подпираемая больше сзади взрывными газами, воздушная ударная волна отрывается от них и по инерции продолжает распространяться далее.

Однако в тыльной части сжатая масса воздуха начинает расширяться назад, в сторону разреженных взрывных газов. За областью сильно сжатого воздуха появляется зона разрежения, то есть область, где давление воздуха ниже давления в окружающей атмосфере.

В уплотненной области воздух движется вперед. В области разрежения, наоборот, наблюдается движение воздуха в обратную сторону, в направлении к центру взрыва. Это показано на рис. 15. Так как всякие газы при сжатии нагреваются, то и воздух в области сжатия имеет повышенную температуру. Наоборот, в области разрежения (для слабых ударных волн) температура воздуха ниже температуры в невозмущенной атмосфере.

Теория и опыт показывают, что для вполне сформировавшейся воздушной ударной волны, которая оторвалась от породивших ее взрывных газов, наибольшее давление, скорость и температура воздуха наблюдаются непосредственно за фронтом ударной волны, то есть за скачком уплотнения воздуха. Иногда говорят, что максимальное давление ударной волны есть давление на фронте этой волны.

Фронт ударной волны распространяется со скоростью, превышающей скорость звука в воздухе. При этом скорость фронта тем больше, чем больше давление на нем. Если на очень большом расстоянии от места взрыва давление на фронте приближается к давлению атмосферного невозмущенного воздуха, то скорость фронта приближается к скорости звука и вся ударная волна превращается в обычную звуковую волну.

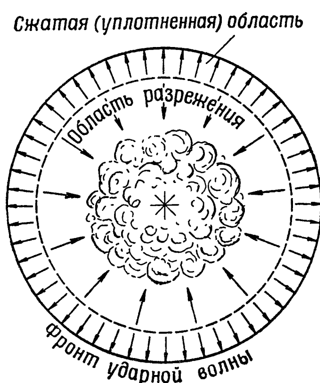


Рис. 15. Образование воздушной ударной волны и отрыв ее от продуктов взрыва

В отличие от фронта ударной волны граница, отделяющая область сжатия от области разрежения, движется со скоростью звука (строго говоря, со скоростью, несколько большей скорости звука). Скорость «хвоста» области сжатия равна скорости звука в среде, нагретой областью сжатия. В результате этого фронт волны уходит от границы, разделяющей области сжатия и разрежения, а ширина области сжатия все время увеличивается по мере движения волны. Ширина области сжатия нередко называется также глубиной ударной волны.

Образование воздушной ударной волны при ядерном взрыве. При ядерном взрыве выделяется огромное количество тепловой энергии, способной расплавить и превратить в газ, нагретый до чрезвычайно высокой температуры, сам ядерный заряд, окружающую его оболочку и все конструктивные элементы, находящиеся вблизи заряда. Очень сильно разогревается и примыкающий к заряду воздух.

В месте взрыва образуется огненный шар, который очень быстро увеличивается. Граница огненного шара движется, захватывая все новые и новые массы среды, например воздуха. Однако вне границы огненного шара среда некоторое время остается совершенно неподвижной, пока она еще не вовлечена внутрь шара.

Чем значительнее становятся размеры огненного шара, то есть чем больше вещества окружающей среды, например воздуха, вошло в него, тем ниже становится температура внутри шара, потому что его энергия, полученная от взрыва, распределяется во все более и более значительной массе. Часть энергии ускользает из шара наружу в результате светового и проникающего излучений. Другими словами, некоторое количество фотонов вырывается из шара наружу и распространяется на очень большое расстояние.

Вследствие этих причин шар охлаждается, сила молекулярных ударов ослабевает, электроны вновь улавливаются атомами и входят в их электронные оболочки, а атомы вновь соединяются в молекулы. Быстрых носителей энергии — фотонов и электронов — становится все меньше и меньше, и основным носителем оставшейся энергии взрыва оказываются молекулы окружающей среды, движущиеся сравнительно медленно (сотни и десятки километров в секунду, что в тысячи и даже десятки тысяч раз меньше скорости фотонов).

При таких условиях разогретое газовое облако ядерного взрыва приближается по своим свойствам к облаку обычных взрывных газов, получаемых при взрыве обыкновенных взрывчатых веществ.

Как указано было уже выше, это облако, расширяясь во все стороны, оттесняет окружающий воздух и сжимает его, увеличивая его давление.

Однако температура огненного шара остается еще равной нескольким тысячам градусов и он продолжает интенсивно светиться. Свет огненного шара проходит теперь уже сквозь область сильно сжатого и нагретого, но слабо светящегося воздуха. Этот воздух очень сильно поглощает свет. Поэтому при возникновении вокруг огненного шара сильно сжатой воздушной оболочки свечение шара в удаленные точки пространства несколько снижается.

Сжатая воздушная оболочка быстро расширяется, давление в ней очень сильно падает при расширении. Например, при увеличении радиуса этой оболочки в два раза давление падает в восемь раз. При этом прозрачность воздуха повышается и, если взрыв произошел в воздухе, свечение огненного шара вновь усиливается.

Образовавшаяся зона сжатия соответствует ударной волне, а ее передняя граница — фронту ударной волны.

По мере расширения огненного шара и образования ударной волны энергия шара, еще не ушедшая из него с излучением, передается этой волне. В конце концов расширение шара почти прекращается и ударная волна отрывается от него. Это значит, что ударная волна распространяется дальше только за счет инерции и упругости массы среды, вовлеченной в движение.

Из сказанного можно сделать следующий вывод. Расширение огненного шара и движение ударной волны в среде распадаются во времени на три различных этапа:

1) расширение огненного шара главным образом за счет передачи энергии фотонами и электронами, без образования вне шара ударной волны;

2) расширение огненного шара с образованием вокруг него сильно сжатого слоя среды, перемещаемого давлением расширяющегося шара;

3) движение ударной волны в среде независимо от расширения шара, которое постепенно затухает.

Эти три этапа показаны схематически на рис. 16.

Размеры светящейся области, возникающей при ядерном взрыве, сравнительно невелики. Например, при взрыве ядерного заряда среднего калибра диаметр светящейся области достигает не более 300 м. Между тем зона разрушений, производимых механическим действием такого взрыва, примерно в десять раз больше. Основное механическое разрушающее действие производит в таком случае воздушная ударная волна.

При взрыве в более плотной среде, например в воде, размеры огненного шара приблизительно в десять раз меньше, чем в воздухе, в то время как размеры зоны разрушений только немного меньше, чем в воздухе. Значение ударной волны при подводном взрыве меньше, чем значение воздушной ударной волны в воздухе.

На основании этих обстоятельств более подробное изучение особенностей ударных волн, получаемых при

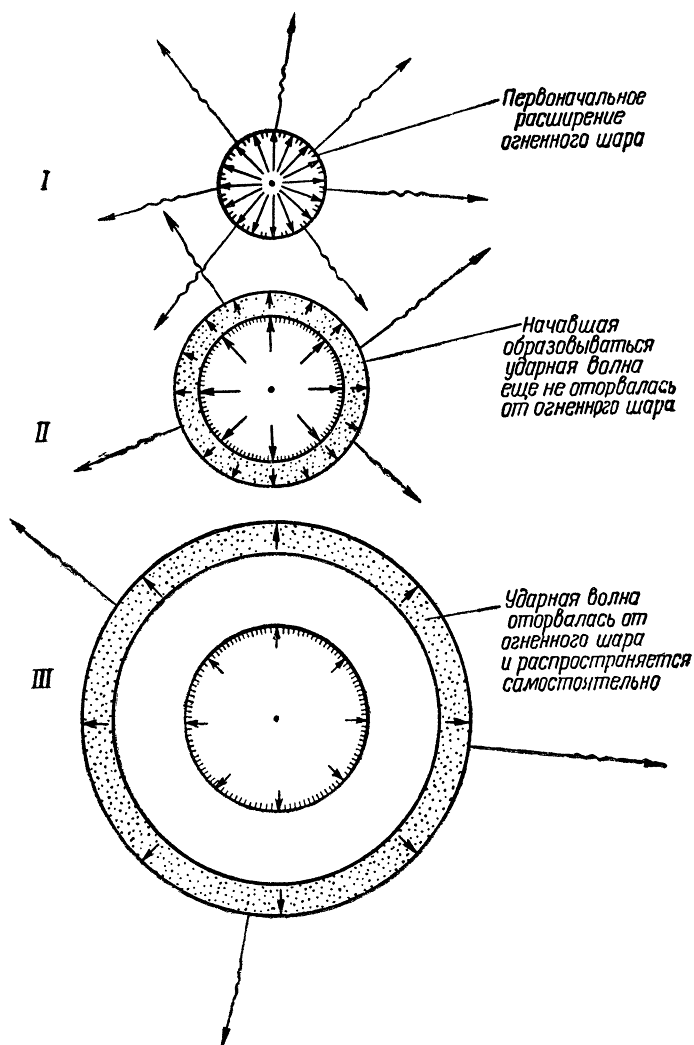


Рис. 16. Три основных этапа расширения огненного шара ядерного взрыва и образование ударной волны

ядерном взрыве, имеет первостепенное значение для правильного понимания разрушающего действия ядерного взрыва и способов защиты от него.

2. Основные свойства воздушной ударной волны

Чтобы ознакомиться более подробно со свойствами воздушной ударной волны, рассмотрим следующий случай взрыва. Пусть ядерный взрыв произошел вблизи поверхности земли и воздушная ударная волна распространяется вдоль поверхности земли, образуя как бы купол, опирающийся на землю. Это показано на рис. 17.

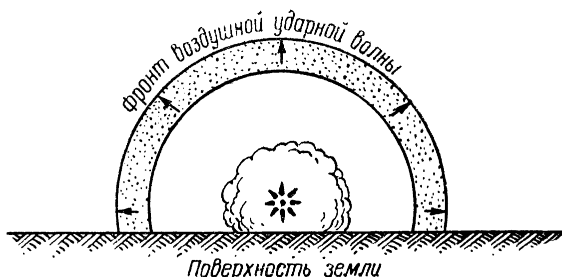


Рис. 17. Воздушная ударная волна при наземном взрыве

Выясним подробнее картину распределения давления воздуха в волне. Для измерения этого давления можно расположить специальные приборы вдоль поверхности земли. Схематическое устройство одного из таких приборов, называемых самописцами давления, показано на рис. 18. Прибор устанавливается заподлицо с поверхностью земли. Ударная волна скользит по поверхности прибора, давление воздуха действует на мембрану прибора и прогибает ее. Рычаг, соединенный с мембраной, поворачивается, и самопишущее перо на его конце записывает это перемещение на вращающемся барабане. Так как давление воздуха при движении ударной волны вдоль прибора меняется с течением времени, то на барабане автоматически записывается график, показывающий ход изменения давления. График имеет вид, показанный на рисунке 19. Здесь по горизонтальной оси отложено время, по вертикальной оси — давление.

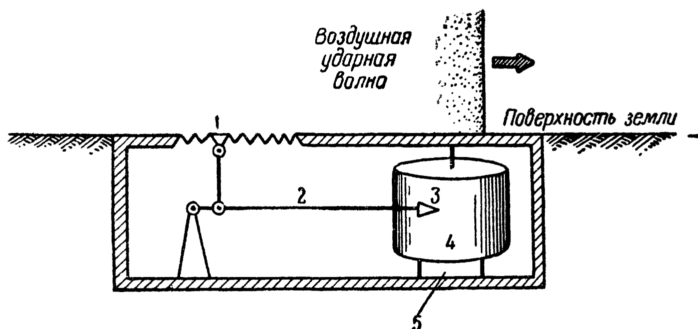


Рис. 18. Схематический разрез самописца давления:
1 — мембрана, воспринимающая давление воздуха в ударной волне; *2* — рычаг, покорачивающийся при прогибе мембраны под действием давления воздуха; *3* — самопишущее перо на конце рычага; *4* — барабан, на котором записывается давление воздуха; *5* — электромотор, вращающий барабан

Сначала, в левой части графика, мы видим горизонтальную линию, соответствующую нормальному атмосферному давлению. Далее виден резкий скачок давления, появившийся в момент набегания на мембрану фронта воздушной ударной волны. В этот момент давление воздуха растет скачкообразно от нормального (в атмосфере) до максимального давления, имеющегося в волне непосредственно за ее фронтом. Разность между максимальным давлением и давлением атмосферы называется избыточным давлением на фронте (во фронте) волны

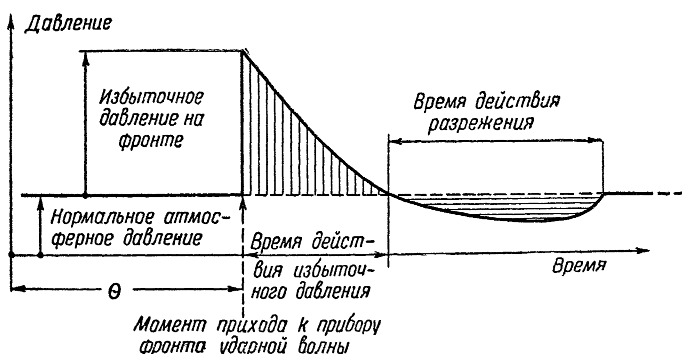


Рис. 19. Изменение давления в воздушной ударной волне, записанное самописцем в зависимости от времени

После прохождения фронта волны давление воздуха начинает постепенно падать, доходит до нормального атмосферного давления и потом опускается еще ниже. Это значит, что вслед за слоем сжатого воздуха в ударной волне следует слой разреженного воздуха. Этот последний имеет значительную толщину, а пониженное давление длится довольно долго. Потом давление поднимается до нормального атмосферного. Значит, ударная волна прошла дальше.

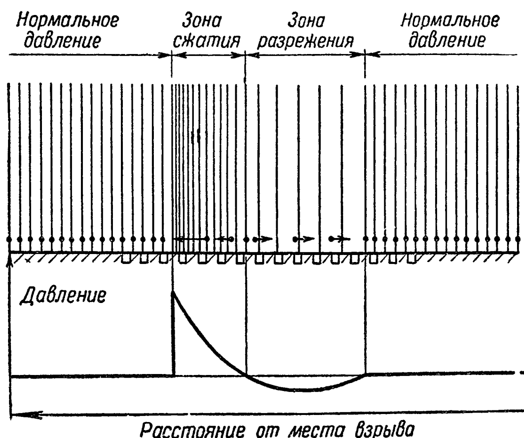


Рис. 20. Распределение давления по глубине воздушной ударной волны

Мы рассмотрели изменение давления воздуха в определенном месте при прохождении ударной волны. Теперь посмотрим, как распределено давление в волне в определенный момент времени. С этой целью установим, что показывал бы одновременно ряд приборов, расположенных вдоль направления движения волны.

На рис. 20 показано такое мгновенное распределение давления. Густота вертикальной штриховки условно изображает на этом рисунке распределение плотности в воздухе, захваченном в данный момент ударной волной. Очевидно, что чем выше давление, тем больше плотность воздуха.

Увеличение плотности в зоне сжатия происходит вследствие перемещения в нее некоторой части воздуха

от зоны разрежения, где вследствие этого плотность воздуха соответственно уменьшается.

Перемещение воздуха за фронтом воздушной ударной волны происходит с определенной скоростью. Движение направлено в ту же сторону, куда идет волна. Однако скорость фронта, как уже указывалось, значительно больше, чем скорость воздуха непосредственно за фронтом.

По мере удаления фронта волны скорость воздуха в рассматриваемой точке уменьшается, потом становится равной нулю и, наконец, движение воздуха меняет свое направление. Воздух начинает двигаться в сторону, противоположную направлению распространения волны. На рис. 20 показаны стрелки, величина и направление которых соответствуют описанному движению воздуха.

Таким образом, при прохождении воздушной ударной волны происходит следующее. В момент прихода в данное место фронта воздушной ударной волны давление практически мгновенно поднимается до своего максимального значения. Одновременно возрастает и плотность воздуха. Так как при быстром сжатии газы всегда нагреваются, то температура воздуха также растет. Этот уплотненный и нагретый воздух движется в сторону распространения волны. Возникает как бы кратковременный порыв очень сильного и горячего ветра, длящийся приблизительно одну секунду. Потом давление становится меньше атмосферного, направление ветра изменяется на противоположное, воздух разрежается и охлаждается ниже нормального (атмосферного). В сырую погоду охлаждение воздуха может привести к мгновенному появлению тумана в зоне разрежения. Если смотреть на взрыв издали в такую погоду, то можно видеть быстрорасширяющуюся туманную сферу — это зона разрежения, следующая за невидимой зоной сжатия.

Если ударная волна достаточной силы проникает в насыщенные влагой более или менее высокие слои атмосферы, то там можно наблюдать образование быстро расширяющегося облачного кольца.

Зону сжатия тоже можно видеть при подходящих условиях. Если, например, с холма наблюдать луг или поле, вдоль которых распространяется воздушная волна, то видно, как она нагибает и прижимает к земле траву

и другие растения. В сухую погоду видно также, как ударная волна поднимает облака пыли. При изучении ядерных взрывов за границей нередко применяли реактивные снаряды, образующие дымовую трассу. Эти снаряды выпускались непосредственно перед ядерным

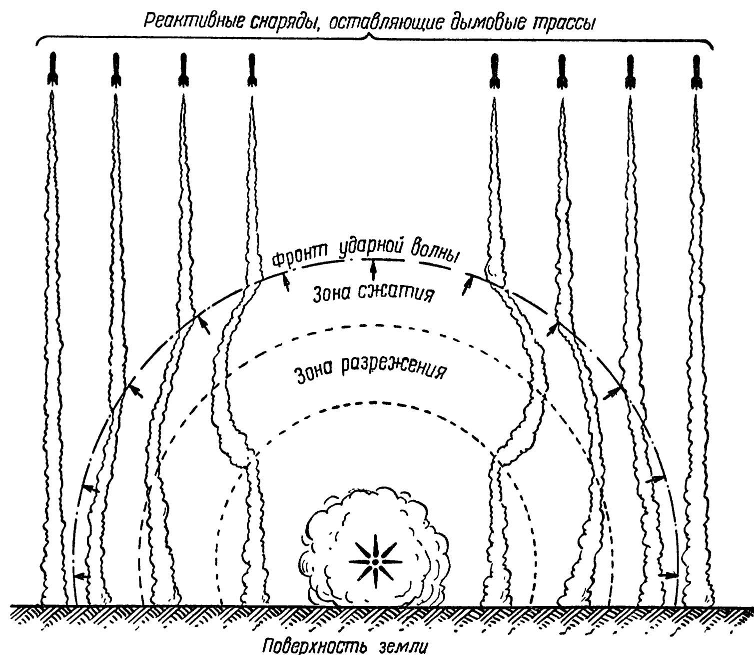


Рис. 21. Схематическое изображение искажения дымовых трасс (оставленных специальными реактивными снарядами) при распространении воздушной ударной волны

взрывом, и оставленные ими дымовые трассы позволяли очень хорошо видеть, как перемещается и сжимается воздух, вовлекаемый в движение ударной волной. Схематическое изображение такой картины дано на рис. 21.

Обычно время действия избыточного давления воздушной ударной волны столь значительно, что основные разрушения, которые она может произвести, происходят существенно раньше прихода зоны разрежения; на практике для оценки разрушающего действия достаточно знать величину избыточного давления, от которой зави-

сит величина скорости движения воздуха в зоне сжатия и тот напор, который этот воздух производит на встречаемые им предметы. Поэтому избыточное давление на фронте является важнейшей количественной характеристикой воздушной ударной волны и требует особенно внимательного исследования и изучения.

3. Определение параметров воздушной ударной волны

Тротиловый эквивалент. Различные действия всякого взрыва, в том числе и ядерного, в основном зависят от энергии, выделяемой при взрыве. Поэтому для расчетов величин, определяющих действие этого взрыва, необходимо знать его энергию. Как известно, энергию выражают обычно в килограммометрах, киловатт-часах и других единицах. Однако в случае ядерного взрыва принят другой способ измерения энергии. Чтобы наглядно оценить действие ядерного взрыва, удобно сравнить его со взрывом обычного взрывчатого вещества. Поэтому энергию, выделяемую при ядерном взрыве, определяют следующим образом. Подбирают такое количество обычного взрывчатого вещества, которое выделяет при взрыве столько же энергии, сколько выделил данный ядерный заряд. Весом этого обычного заряда и характеризуют энергию ядерного взрыва.

Одним из наиболее распространенных взрывчатых веществ, взрыв которых наиболее хорошо изучен, является тротил. Поэтому другие взрывы принято характеризовать тротиловым эквивалентом. Тротиловым эквивалентом называется вес такого заряда тротила, который дает столько же энергии, сколько получается и при взрыве соответствующего ядерного заряда.

Тротиловый эквивалент выражают в килограммах, тоннах, килотоннах (1 килотонна = 1000 тонн) или, при весьма крупных зарядах, в мегатоннах (1 мегатонна = = 1 000 000 тонн).

Подавляющая часть энергии взрыва обычного взрывчатого вещества проявляется в виде механического действия, в частности она идет на образование воздушной ударной волны. При ядерном взрыве дело обстоит иначе. Как было уже указано выше, заметная часть энергии ядерного взрыва выносится на значительные расстояния

при помощи различных видов излучения (свет, проникающее излучение). Поэтому на образование ударной волны при ядерном взрыве расходуется 35% всей энергии.

Всю энергию ядерного взрыва выражают через **полный тротиловый эквивалент.**

Энергию, определяющую собой действие воздушной ударной волны, выражают через **тротиловый эквивалент по ударной волне.**

Основным выражением энергии ядерного взрыва, которым пользуются при оценке механического разрушающего действия и при расчетах, касающихся ударных волн, является тротиловый эквивалент по ударной волне.

Эта величина обычно определяется на опыте, исходя из измерений величины избыточного давления на фронте воздушной ударной волны на различных расстояниях от места взрыва.

Если возникает необходимость определить тротиловый эквивалент в обычных единицах измерения энергии, то следует учитывать, что 1 кг тротилового эквивалента соответствует приблизительно 430 тыс. килограммометров работы. Иными словами, энергия взрыва 1 кг тротила достаточна, чтобы груз весом 1 кг поднять на высоту 430 тыс. м, или 430 км.

Отсюда следует, что ядерный взрыв с тротиловым эквивалентом 10 тыс. т мог бы при полном использовании его механической работы бросить тяжелый крейсер весом 10 тыс. т тоже на высоту 430 км. Следовательно, эта энергия очень велика.

Закон подобия. В целом закономерности, определяющие развитие взрыва и его различные действия, довольно сложны и разнообразны. Однако есть очень простой и проверенный на практике способ решения многих задач в области взрыва, который значительно облегчает расчеты избыточного давления волны, радиусов разрушающего действия и многих других величин. Этот способ основывается на законе подобия для взрывов.

Согласно закону подобия **расстояние от места взрыва до точки с заданными свойствами на фронте воздушной ударной волны пропорционально корню кубическому из тротилового эквивалента.**

Рассмотренный закон поясним примером. Известно из опыта и теории, что при взрыве заряда с тротиловым

эквивалентом по воздушной ударной волне $q_А = 10$ тыс. т избыточное давление на фронте, равное 10 кг на квадратный сантиметр, наблюдается на расстоянии $R_А = 220$ м.

Спрашивается, на каком расстоянии $R_Б$ будет наблюдаться точно такое же избыточное давление на фронте ударной волны при взрыве заряда с тротиловым эквивалентом по ударной волне, равном $q_Б = 10$ млн. т?

Эту задачу проще всего решить так. Тротиловый эквивалент возрастает в рассматриваемом случае в тысячу раз. Это видно из отношения

$$\frac{q_Б}{q_А} = \frac{10\,000\,000}{10\,000} = 1000.$$

Если тротиловый эквивалент возрос в тысячу раз, то расстояние, на котором наблюдается то же давление, должно увеличиться в $\sqrt[3]{1000} = 10$ раз. Поэтому при тротиловом эквиваленте, равном 10 млн. т, избыточное давление на фронте, равное 10 кг на квадратный сантиметр, будет наблюдаться на расстоянии $R_Б$, в десять раз превосходящем величину $R_А$. Отсюда следует:

$$R_Б = R_А \sqrt[3]{1000} = 10R_А.$$

Учитывая указанное выше значение $R_А$, получаем, что

$$R_Б = 2200 \text{ м} = 2{,}2 \text{ км}.$$

На основании рассмотренного примера можно написать такие общие формулы:

$$\frac{R_А}{R_Б} = \sqrt[3]{\frac{q_А}{q_Б}} \text{ и } \left(\frac{R_А}{R_Б}\right)^3 = \frac{q_А}{q_Б}.$$

Если разделить тротиловый эквивалент на куб соответствующего расстояния, то получим постоянную величину. Можно написать (при постоянных параметрах фронта волны):

$$\frac{q_А}{R_А^3} = \frac{q_Б}{R_Б^3} = \frac{q}{R^3} = \text{постоянная величина.}$$

Например, для избыточного давления 10 кг/см^2

$$\frac{q_A}{R_A^3} = \frac{q_Б}{R_Б^3} = 0{,}00095 \text{ т/м}^3.$$

Если выразить q_A и $q_Б$ в килограммах, получим другую величину, но и она будет постоянной:

$$\frac{q_A}{R_A^3} = \frac{q_Б}{R_Б^3} = 0{,}95 \text{ кг/м}^3.$$

Таким образом, каждому заданному значению избыточного давления на фронте воздушной ударной волны соответствует одно вполне определенное отношение $\frac{q}{R^3}$.

Отсюда следует, что на основе опыта или теоретического расчета можно установить величину этого отношения для какого-либо одного значения q и потом использовать это отношение для расчетов при иных тротиловых эквивалентах. Это очень удобно с практической точки зрения, так как можно провести опыты с малыми зарядами из обычного тротила, а полученные результаты перенести на расчет избыточного давления воздушной ударной волны сколь угодно мощного ядерного взрыва и иметь уверенность в совпадении расчета и опыта, если только заранее известен соответствующий тротиловый эквивалент.

Чтобы опытные данные наиболее удобно использовать на практике, можно подобрать подходящую формулу, которая давала бы связь между избыточным давлением и отношением $\frac{q}{R^3}$.

Обычно избыточное давление на фронте ударной волны обозначают $\Delta p_ф$. Здесь значок Δ означает, что имеется в виду не полное, а только избыточное (над атмосферным) давление. Индекс $_ф$ означает, что речь идет об избыточном давлении на фронте волны.

Простейшей практически пригодной формулой для ориентировочных расчетов значений $\Delta p_ф$ при условии, что они лежат в пределах примерно от 0,1 до 2 кг/см^2, можно считать формулу такого вида:

$$\Delta p_ф = 3{,}9 \sqrt{\frac{q}{R^3}}.$$

Здесь $\Delta p_{ф}$ получается в кг/см², если q выражено в килограммах и R в метрах.

Приведенная здесь формула является простейшим выражением связи между $\Delta p_{ф}$ и $\frac{q}{R^3}$, вытекающим из рассмотренного закона подобия.

Расчет избыточного давления на фронте воздушной ударной волны. Указанный выше способ расчета избыточного давления воздушной ударной волны является приближенным. Приведенные формулы пригодны для расчетов только тогда, когда получаемое по ним избыточное давление лежит в сравнительно ограниченных пределах от 0,1 до 2 кг/см². Практика требует часто выхода за эти пределы. Поэтому возникает необходимость расширить и уточнить способы расчета.

Для определения избыточного давления на Абердинском полигоне в США [1] были использованы электронные счетные машины.

Результаты таких расчетов можно выразить в виде таблиц или графиков, в которых учитываются различные условия взрыва.

При этом очень важно выбрать наиболее удобную единицу для измерения расстояния от места взрыва до той точки, где определяется избыточное давление. Единицу расстояния нужно выбрать так, чтобы получить одни и те же графики для всех тротиловых эквивалентов. Кроме того, необходимо учесть еще и первоначальное давление атмосферы. Взрыв может быть произведен на разной высоте над местностью, на разных высотах в горах, а также в разную погоду, когда давление воздуха различно. Следовательно, первоначальное давление атмосферы может изменяться, а это влияет на результаты определения избыточного давления.

Чтобы решить этот вопрос, следует вспомнить, что давление воздуха пропорционально энергии, содержащейся в каждом кубическом метре воздуха. Эта энергия является энергией движения молекул воздуха.

Если ударная волна распространилась от места взрыва на расстояние R, то общий объем воздуха, под-

---

[1] Journal of Applied Phisics, 1955, июнь, v 26, № 6, стр. 766.

вершившийся к этому моменту действию взрыва, будет равен

$$\frac{4}{3}\pi \cdot R^3.$$

Энергия, заключенная первоначально в этом объеме, будет пропорциональна величине

$$\frac{4}{3}\pi R^3 \cdot P_0,$$

где P_0 — первоначальное давление атмосферы. Величина $\frac{4}{3} \cdot \pi$ является во всех случаях одной и той же. Таким образом, можно считать, что энергия, заключенная до взрыва в воздухе, подвергшемся действию ударной волны, пропорциональна произведению $R^3 \cdot P_0$.

Энергия же, введенная в воздух при взрыве, пропорциональна тротиловому эквиваленту по ударной волне q.

Теория и расчет показывают, что избыточное давление зависит только от соотношения между энергией взрыва, обусловившей появление ударной волны, и энергией, бывшей ранее в среде, где эта волна возникла. Таким образом, избыточное давление зависит только от величины

$$\frac{q}{R^3 P_0} = k.$$

Отсюда

$$R = \sqrt[3]{\frac{q}{kP_0}} = \sqrt[3]{\frac{1}{k}}\sqrt[3]{\frac{q}{P_0}}.$$

Обозначим величину

$$\sqrt[3]{\frac{1}{k}} = R_1.$$

Таким образом, можно написать

$$R = R_1\sqrt[3]{\frac{q}{P_0}}$$

и

$$R_1 = \frac{R}{\sqrt[3]{\frac{q}{P_0}}}.$$

Можно считать, что при определенном значении k соответствующее определенное значение имеет и R_1.

Так как избыточное давление на фронте ударной волны, как сказано выше, зависит только от величины k, то оно зависит также и от соответствующей величины R_1, которую можно назвать условным расстоянием.

Для того чтобы получить это условное расстояние R_1, необходимо истинное расстояние R разделить на величину

$$\sqrt[3]{\frac{q}{P_0}} = r.$$

r — есть условная единица длины. Выражая в таких единицах расстояние от места взрыва до точки, где определяется избыточное давление $\Delta p_ф$ на фронте ударной волны, можно для всех возможных значений первоначального давления среды P_0 и тротилового эквивалента по ударной волне получить одни и те же значения $\Delta p_ф$.

Если потом необходимо вновь перейти от R_1 к R, то нужно только умножить R_1 на r и будет получена величина R в соответствующих единицах. При практических расчетах удобно, например, выражать q в тоннах, а P_0 в кг/см^2.

Нормальное давление атмосферы можно считать с достаточной точностью равным 1 кг/см^2. При таких условиях можно принять простую формулу

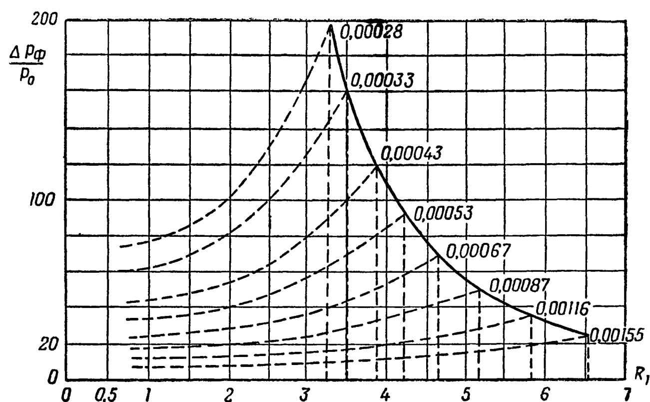
$$r = \sqrt[3]{q}.$$

Избыточное давление также следует измерять в относительных единицах, беря отношение

$$\frac{\Delta p_ф}{P_0}.$$

На рис. 22 и 23 даны графики, позволяющие найти при изложенных условиях значение $\Delta p_ф$ при заданных R, P_0 и q.

Сплошная кривая на этих графиках представляет собою изменение $\frac{\Delta p_ф}{P_0}$ от R_1.



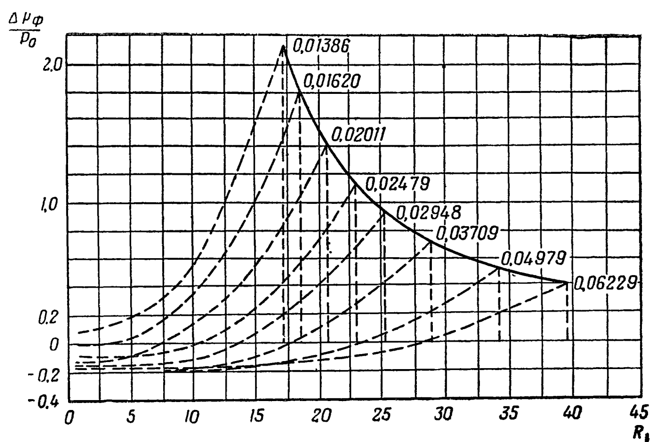
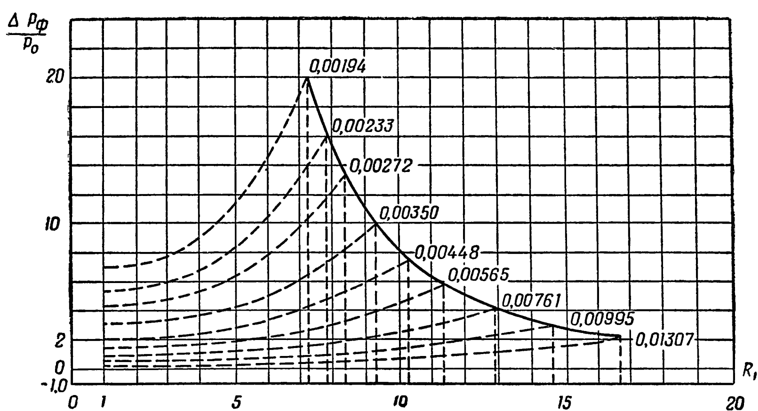


Рис. 22. График, характеризующий параметры ударной волны. Около отдельных точек кривых указаны соответствующие значения τ_0



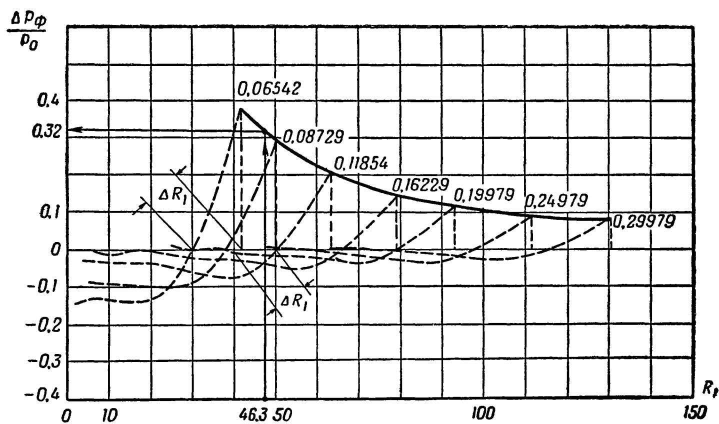


Рис. 23. График, характеризующий параметры ударной волны. Около отдельных точек кривых указаны соответствующие значения τ_0

Эти графики (при условии постоянства c_p/c_v) представляют собою результат аналитического решения с помощью электрических вычислительных машин задачи о распространении сферических ударных волн в безграничной атмосфере.

Чтобы воспользоваться приведенными выше графиками, надо сначала определить величину

$$r=\sqrt[3]{\frac{q}{P_0}}.$$

Здесь q должно быть выражено в тоннах, а P_0 в атмосферах. Далее следует найти условное расстояние.

$$R_1=\frac{R}{r}.$$

Отыскивая на горизонтальной оси величину R_1, находим по графику величину

$$\frac{\Delta p_ф}{P_0}$$

по шкале на вертикальной оси.

Умножая эту величину на P_0, определяем $\Delta p_ф$. Если $P_0 = 1$ атм., то действия упрощаются; при этом

$$r=\sqrt[3]{q}\ (q \text{ в тоннах})$$

и

$$\frac{\Delta p_ф}{P_0}=\Delta p_ф\ (\Delta p_ф \text{ и } P_0 \text{ в атмосферах или кг/см}^2).$$

Поясним рассмотренный способ расчета примером. Пусть имеется ядерная бомба с полным тротиловым эквивалентом, равным 20 тыс. т. В данном случае тротиловый эквивалент по воздушной ударной волне $q = 10$ тыс. т. Определим значение $\Delta p_ф$ при взрыве рассматриваемой бомбы, если $P_0 = 1$ кг/см^2 = 1 атм. на расстоянии $R = 1000$ м. С этой целью сначала определим величину r:

$$r=\sqrt[3]{\frac{q}{P_0}}=\sqrt[3]{\frac{10\,000}{1}}=21{,}6 \text{ м}.$$

Установим теперь условное расстояние. Оно равно

$$R_1 = \frac{R}{r} = \frac{1000}{21,6} = 46,3.$$

Теперь по графику на рис. 23 (ход решения показан стрелками) исходя из $R_1 = 46,3$ находим:

$$\frac{\Delta p_ф}{P_0} = \Delta p_ф = 0,32 \text{ атм} = 0,32 \text{ кг/см}^2.$$

Расчет времени распространения воздушной ударной волны и размеров зоны сжатия с помощью графиков. Помимо расчета избыточного давления с помощью указанных выше графиков можно исходя из описанного способа установить также и время распространения ударной волны Θ. Как показывает теория, это время пропорционально указанному выше значению r:

$$\Theta = \tau_0 r = \tau_0 \sqrt[3]{\frac{q}{P_0}} \text{ сек.}$$

Здесь, как и раньше, q выражается в тоннах, а P_0 в атмосферах или килограммах на квадратный сантиметр; τ_0 — коэффициент пропорциональности.

Соответствующие значения τ_0 указаны около отдельных точек кривых на рис. 22 и 23.

Применительно к рассмотренному выше примеру, когда $q = 10$ тыс. т, $R = 1000$ м и $r = 21,6$ м, можно приближенно считать согласно рисунку 23 $\tau_0 = 0,075$.

Следовательно, время прихода ударной волны на расстояние $R = 1000$ м будет равно

$$\Theta = \tau_0 \cdot r = 0,075 \cdot 21,6 = 1,6 \text{ сек.}$$

На рис. 22 и 23, помимо кривых, нанесенных жирной линией, имеется еще серия пунктирных кривых, которые показывают, как распределено давление в воздушной ударной волне за ее фронтом в массе воздуха, находящейся между местом взрыва и фронтом волны.

Например, ширина зоны сжатия в условиях рассмотренного выше примера, как это видно на рис. 23, может быть определена как среднее для двух положений волны. Одно из них соответствует примерно

$$R_1^* = 42$$

и другое

$$R_1^{**} = 50.$$

Глубина волны в обоих случаях равна примерно

$$\Delta R_1 = 13.$$

Действительная глубина зоны сжатия равна

$$\Delta R = \Delta R_1 r = 13 \cdot 21{,}6 = 281 \text{ м}.$$

Зона разрежения простирается в этом случае до самого места взрыва, как это видно на рис. 23.

Расчет скорости воздуха за фронтом ударной волны. Скорость воздуха за фронтом воздушной ударной волны согласно теории равна

$$U_ф = 10\,000 \frac{\Delta p_ф}{\rho D} \text{ м/сек}.$$

Здесь $\Delta p_ф$ — избыточное давление в атмосферах или кг/см²;

ρ — плотность воздуха в атмосфере;

D — скорость фронта ударной волны в м/сек.

Величина ρ может быть определена по такой формуле:

$$\rho = 0{,}125 P_0 \frac{1}{1 + \frac{t}{273}} \text{ кг} \cdot \text{сек}^2/\text{м}^4.$$

Здесь P_0 — давление атмосферы, выраженное в атмосферах или кг/см².

Как видно из последней формулы, влияние температуры на плотность воздуха практически невелико. Учитывая это, можно на основании двух последних формул написать:

$$U_ф = 80\,000 \frac{\Delta p_ф}{P_0 \cdot D}.$$

Значения $\frac{\Delta p_ф}{P_0}$ могут быть найдены описанным выше способом по графикам на рис. 22 и 23. Величина D может быть определена при помощи такой формулы:

$$D = c \sqrt{1 + 0{,}86 \frac{\Delta p_ф}{P_0}}.$$

Здесь c — скорость звука, равная $c = 20 \sqrt{T}$;

T — температура в °K.

4. Взаимодействие ударных волн с преградами

Регулярное отражение ударных волн от неподвижных преград. Весьма часто действие воздушной ударной волны происходит в условиях, когда она набегает на какую-либо преграду, находящуюся на пути ее движения. Движущиеся массы воздуха тормозятся преградой, а давление, температура и плотность воздуха дополнительно повышаются. Это приводит к тому, что разрушающее действие такой ударной волны оказывается бо́льшим, чем действие волны, скользящей вдоль преграды.

Увеличение давления ударной волны, набегающей на преграду, получается наибольшим, если преграда расположена перпендикулярно направлению распространения волны. В этом случае скорость движения воздуха за фронтом набегающей ударной волны гасится полностью, воздух у преграды поджимается наиболее интенсивно, чем и объясняется указанное повышение его давления, температуры и плотности.

Еще около полувека назад известный русский ученый Н. Е. Жуковский обратил внимание на некоторое сходство между волнами, распространяющимися по поверхности воды, и воздушными ударными волнами. В частности, всем, кто наблюдал движение морских или речных волн вблизи вертикальной стенки набережной или крутого берега, хорошо известно, что волна, набегая на крутую стенку и ударяя в нее, дает высокий всплеск, который поднимает часть движущейся воды на высоту, существенно превосходящую первоначальную высоту гребня волны. Очевидно, что выбрасывание воды вверх возможно только потому, что при ударе водяной волны о преграду давление резко возрастает. Это и представляет известную аналогию с теми явлениями, которые наблюдаются при встрече воздушной ударной волны с преградой.

В тот момент, когда фронт ударной волны встречается с плоскостью преграды, на ее поверхность внезапно начинает действовать давление, складывающееся как бы из двух частей: давления, до которого был сжат воздух на скачке уплотнения, и давления, обусловленного практически мгновенной остановкой движущейся массы воздуха (давление скоростного напора). Давление скоростного напора может существенно превышать

статическое (которое имел воздух на гребне волны). Поэтому и суммарное давление может быть намного больше, чем статическое. Максимальное давление на преграду получается в первый момент удара, так как в этот момент и скорость среды на гребне волны, и статическое давление самые высокие.

В первый момент удара останавливаются только те частицы, которые находились на фронте действующей волны, затем те частицы, которые находятся в следующем слое, и т. д. Следовательно, образуется новый скачок уплотнения, на котором прекращается движение воздуха в сторону распространения действующей волны, появляется новая ударная волна — отраженная, двигающаяся в обратном направлении — от преграды.

Фронт отраженной ударной волны постепенно удаляется от преграды. Вначале это перемещение определяется главным образом остановкой воздуха, движущегося в действующей волне. Последнее аналогично явлению, которое можно наблюдать при внезапной остановке паровоза, двигающего состав с малой скоростью. В этом случае сначала останавливается ближний к паровозу вагон, а остальные продолжают катиться по инерции. Затем останавливается второй вагон, за ним третий и т. д., пока волна торможения не дойдет до последнего вагона.

Расчет избыточного давления, возникающего при прямом ударе воздушной ударной волны о преграду, может быть осуществлен по формуле

$$\Delta p_{отр} = 2\Delta p_{ф} + \frac{6\Delta p_{ф}^2}{\Delta p_{ф} + 7P_0},$$

где $\Delta p_{ф}$ — избыточное давление во фронте прямой (падающей) волны;
P_0 — давление атмосферного воздуха;
$\Delta p_{отр}$ — избыточное давление во фронте отраженной волны.

В зависимости от величины $\Delta p_{ф}$ возрастание давления при отражении получается различным. Например, если $\Delta p_{ф}$ во много раз больше атмосферного давления, равного 1 кг/см², получаем

$$\Delta p_{отр} = 8\Delta p_{ф}.$$

Это значит, что при отражении очень сильных ударных волн от преград давление возрастает в восемь раз. (Практически при очень сильных ударных волнах давление может возрасти до одиннадцати раз.)

Наоборот, если $\Delta p_ф$ равно атмосферному давлению, то $\Delta p_{отр} = 2{,}75$, то есть возрастает всего в 2,75 раза.

В табл. 2 приведены значения $\Delta p_{отр}$ при различных $\Delta p_ф$.

Таблица 2

Значения избыточного давления во фронте отраженной волны $\Delta p_{отр}$ при различных значениях избыточного давления $\Delta p_ф$ в падающей перпендикулярно на преграду воздушной ударной волне (при атмосферном давлении, равном 1 кг/см²)

$\Delta p_ф$ (кг/см²) . . .	0,05	0,1	0,3	0,5	1	2	3
$\Delta p_{отр}$ (кг/см²) . .	0,10	0,21	0,65	1,20	2,76	6,67	11,2
$\Delta p_{отр}/\Delta p_ф$	2,0	2,1	2,2	2,4	2,8	3,3	3,7

Из таблицы видно, что в области практически важных случаев действия ударной волны, когда $\Delta p_ф$ лежит в пределах примерно от 0,05 до 3 кг/см², увеличение максимального избыточного давления в результате отражения происходит от 2 до 3,7 раза.

После торможения воздуха преградой начинается его движение в противоположную сторону. При этом энергия, затраченная на сжатие воздуха, в значительной своей части вновь переходит в энергию движения и на некотором расстоянии от преграды получается отраженная ударная волна, напоминающая волну, идущую непосредственно от заряда и лишь несколько ослабленную потерями энергии при отражении. Если преграда плоская и волна отражается от нее при взрыве сосредоточенного заряда, расположенного на расстоянии H от преграды, то, как видно из рис. 24, отраженная волна будет распространяться так, как если бы за преградой, также на расстоянии H, был расположен заряд, вызвавший эту волну своим взрывом. Такое отражение называется регулярным и аналогично отражению звука, света и волн на поверхности воды от соответствующих преград.

Нерегулярное отражение ударных волн. Уже при регулярном отражении наблюдаются некоторые особенности в движении отраженной ударной волны, которые содержат начало отступлений от правильного, регулярного отражения. Дело в том, что отраженная волна движется

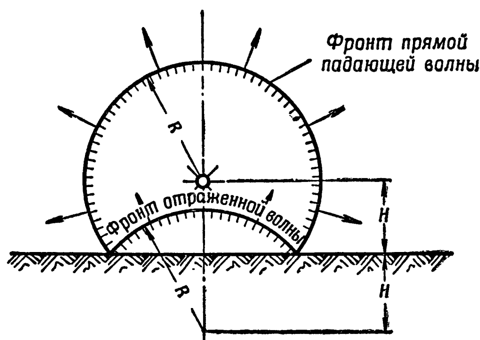


Рис. 24. Схема регулярного отражения ударной волны от поверхности земли

частично по воздуху, уже нагретому и уплотненному падающей волной (см. рис. 25), поэтому скорость распространения отраженной волны увеличивается.

Пока угол α между фронтом падающей волны и отражающей ее поверхностью меньше 45° (на близких рас-

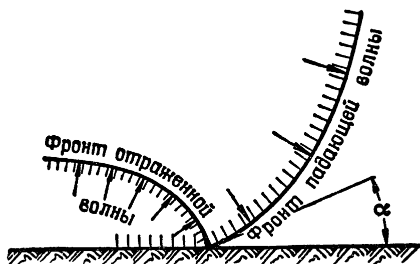


Рис. 25. Схема распространения падающей и отраженной волн

стояниях от эпицентра взрыва), схема отражения, показанная на рис. 25, сохраняется. Однако когда указанный угол становится больше 45° (на больших расстояниях от эпицентра взрыва), уплотненный при отражении слой

воздуха оттесняет падающую волну и выдвигается вперед, обгоняя эту волну. Схема этого явления — нерегулярного отражения — показана на рис. 26. Подобное явление можно часто наблюдать в природе. Например, при движении потока воды по асфальту вдоль тротуара нередко приходится видеть, как волна, идущая от какого-либо камня или другого предмета, набегает на борт тротуара и отражается от него. При достаточной силе и скорости потока получается нерегулярное отражение волны от борта тротуара.

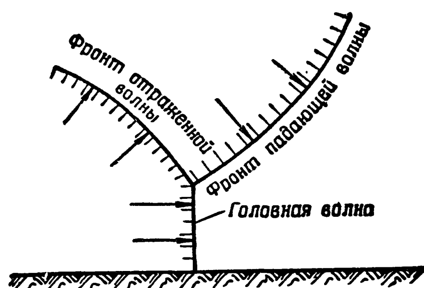


Рис. 26. Схема нерегулярного отражения ударной волны

Давление при отражении возрастает. Если угол α между фронтом волны и отражающей поверхностью равен нулю, то возрастание давления происходит так, как это следует из приводимой выше формулы для $\Delta p_{отр}$. Если угол α равен 90°, то отражения вообще нет и давление на фронте волны остается неизменным. Если же угол α изменяется от 0 до 90°, то наибольшее возрастание давления получается при переходе от регулярного отражения к нерегулярному.

На рис. 27 приведен график[1], из которого видно, во сколько раз возрастает избыточное давление отражения $\Delta p_{отр}$ при различных значениях угла α.

Каждая кривая на рис. 27 соответствует определенному избыточному давлению $\Delta p_{ф}$ в подходящей к преграде волне. Значения $\Delta p_{ф}$ отмечены около каждой кривой.

---

[1] Этот график взят из книги «The Effects of Atomic Weapons», New York — London, 1950.

Как следует из графика на рис. 27, наибольшее повышение давления получается при переходе от регулярного отражения к нерегулярному при угле α, лежащем в пределах 40—70° (в зависимости от избыточного давления во фронте падающей волны).

Волна, образующаяся при слиянии падающей и отраженной волн, называется головной волной (рис. 26).

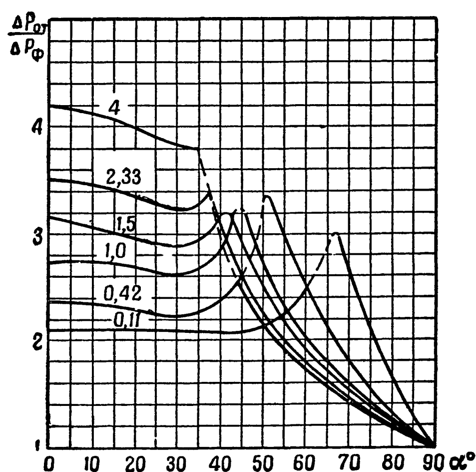


Рис. 27. График зависимости отношения избыточного давления в отраженной (или головной) волне к избыточному давлению в падающей волне $\frac{\Delta P_{отр}}{\Delta P_{ф}}$ от угла α между фронтом падающей волны и преградой

Фронт этой волны перпендикулярен отражающей поверхности. Избыточное давление на фронте головной волны примерно равняется избыточному давлению при перпендикулярном падении ударной волны на преграду. Это справедливо, если угол между фронтом падающей волны и отражающей поверхностью только немного превышает 45°. При увеличении этого угла головная волна увеличивается по высоте, и постепенно ее избыточное давление начинает приближаться к давлению на фронте падающей волны. Когда указанный угол приближается к прямому, превышение избыточного давления на фронте

головной волны над избыточным давлением падающей волны становится незначительным.

Рассмотрим теперь распространение ударных волн при взрыве какого-либо заряда на некоторой высоте над плоской поверхностью земли. Такой взрыв, как известно, называется воздушным.

На рис. 28 показано развитие отражения ударной воздушной волны от поверхности земли.

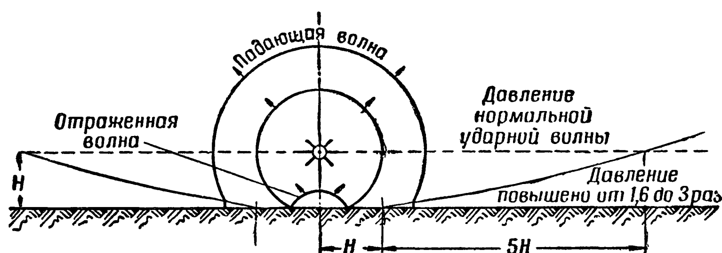


Рис. 28. Образование и распространение отраженной ударной волны при воздушном ядерном взрыве

В точках, находящихся от эпицентра на расстояниях, меньших, чем высота H точки взрыва над поверхностью земли, получается регулярное отражение, а в точках, находящихся от эпицентра на расстояниях R, превышающих указанную высоту H, начинается нерегулярное отражение и возникает головная волна. Высота фронта этой головной волны все время увеличивается. Наконец фронт головной волны достигает высоты, на которой произошел взрыв. После этого форма фронта головной волны начинает изменяться и он приобретает форму части поверхности шара с центром, расположенным в эпицентре.

Обтекание ударными волнами объектов ограниченных размеров. Движение воздушной ударной волны вдоль ровной и гладкой поверхности земли — это сравнительно редкий случай. Гораздо чаще на пути распространения ударной волны будут встречаться здания, деревья, различные неровности местности и разные местные предметы. В этих случаях распространение воздушной ударной волны будет изменяться. Она будет частично отражаться от местных предметов, частично обтекать их.

Проследим это явление на простейшем примере. Представим себе, что имеется достаточно прочная верти-

кальная стенка, которая выдерживает воздействие воздушной ударной волны. При таких условиях набегающая на стенку ударная воздушная волна будет отражаться от нее. Пусть волна падает на стенку перпендикулярно. Этот момент показан схематически на рис. 29, *а*. В результате отражения около поверхности стенки образуется слой уплотненного воздуха, ограниченный снаружи фронтом зарождающейся отраженной волны.

Однако следует обратить внимание на то, что уже в рассматриваемый момент начинается некоторое искажение плоского фронта у края преграды в уплотненном слое воздуха за фронтом отраженной волны. Эти искажения состоят в том, что сильно сжатый у поверхности стенки слой воздуха ничем не подпирается сверху, где давление воздуха меньше, чем в уплотненном слое. В результате воздух из уплотненного слоя начинает истекать вверх и волна разрежения (пониженного давления) начинает распространяться вниз по уплотненному слою воздуха. В пределах, захваченных волной, воздух движется не только вверх, но и отклоняется движущимся над преградой воздухом в сторону распространения основной ударной волны. В результате направление движения воздуха искривляется и получается вихрь, закручивающийся по направлению движения часовой стрелки, как показано на рис. 29, *а*. Вследствие появления вихря давление воздуха на верхнюю часть стенки резко снижается, потому что, во-первых, уменьшается плотность воздуха вследствие его растекания и, во-вторых, центробежные силы отжимают воздух от верхней поверхности преграды. Снаружи вихрь оказывается ограниченным изогнутым фронтом отраженной ударной волны. Здесь центробежные силы уплотняют воздух за фронтом отраженной волны и давление становится выше, чем в прилегающей к преграде части отраженной волны. Именно этим и объясняется возникновение искривленной части отраженной ударной волны, охватывающей верхний край преграды.

С течением времени рассмотренные явления обтекания усложняются и развиваются, но общий их характер сохраняется прежним. На рис. 29, *б* показан момент, когда искривленная часть отраженной волны уже обогнула верхний край преграды и движется вниз по тыльной

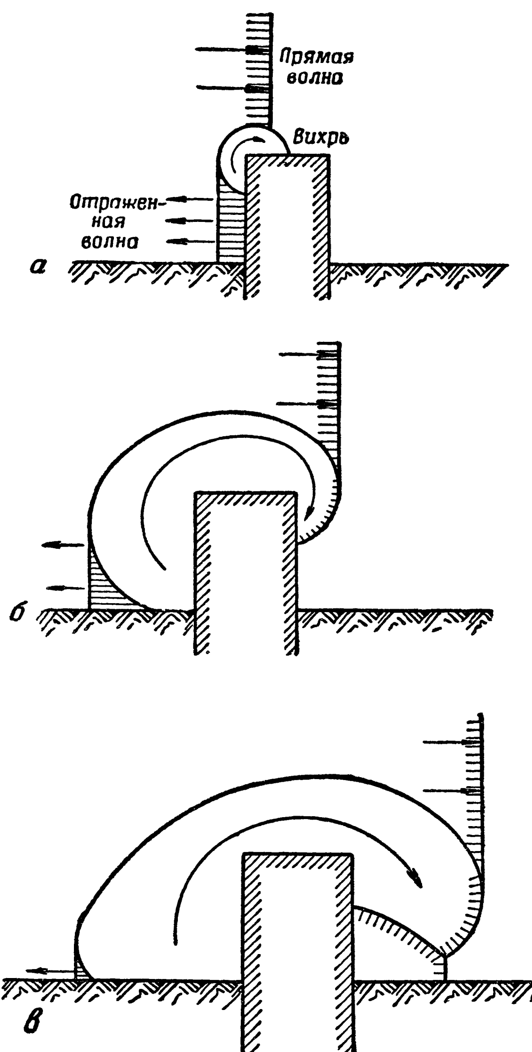


Рис. 29. Обтекание преграды ударной волной

На рисунках *а*, *б*, *в* показано отражение ударной волны от вертикальной стенки и развитие обтекания

части стенки, сливаясь здесь с фронтом первоначальной волны.

В результате этого тыльная поверхность преграды постепенно загружается повышенным давлением воздуха, а передняя поверхность, обращенная в сторону взрыва, постепенно разгружается. Волна разрежения, опускаясь вниз по этой передней поверхности преграды, постепенно снижает высокое давление, получающееся при отражении

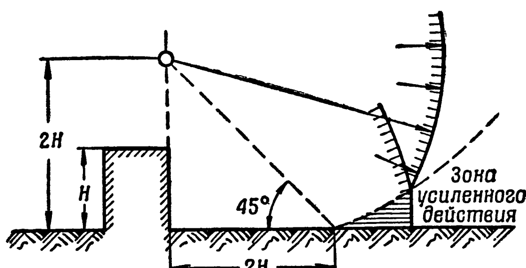


Рис. 30. Образование головной волны и зоны усиленного действия за преградой

волны от преграды. Однако даже и сниженное давление оказывается несколько больше, чем давление на тыльную сторону стенки.

Затем наступает следующий этап обтекания. Волна (вихрь) доходит до поверхности земли и начинает от нее отражаться с соответствующим увеличением давления, как и первичная ударная волна взрыва отражается от земли. Этот этап рассматриваемого процесса показан на рис 29, *в*.

По мере дальнейшего движения волна обтекания подходит к поверхности земли, образуя с ней все более и более значительные углы. Центр кривизны фронта этой волны находится на высоте, приблизительно в два раза превосходящей высоту преграды. При таких условиях на расстоянии, равном удвоенной высоте $2H$ преграды, фронт ударной волны, огибающей преграду, образует с поверхностью земли угол примерно 45°, что и приводит к образованию головной волны (рис. 30). При дальнейшем движении волны за преградой образуется зона нерегулярного отражения, где действие избыточного давления резко усиливается. Головная волна, образовавшаяся при этом, перемещается далее. Вихрь, возникший

в результате обтекания ударной волной края преграды, отрывается от нее и распространяется дальше вместе с массой воздуха.

Рассмотрим теперь картину обтекания высокой, но неширокой стенки. Здесь у каждого края стены наблюдаются такие же явления, какие рассмотрены раньше. Это показано в серии схем на рис. 31. Особенностью этого

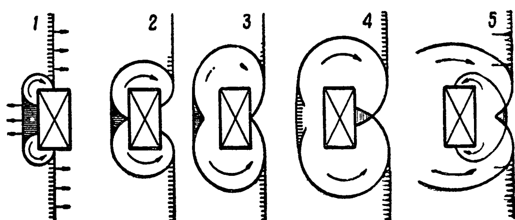


Рис. 31. Последовательная картина (*1*, *2*, *3*, *4*, *5*) обтекания преграды ударной волной (в плане)

случая по сравнению с предыдущим является то, что огибающие преграду с различных сторон волны набегают друг на друга. Происходит соударение волн и их взаимное отражение друг от друга. Отражение протекает таким путем, как если бы за средней частью преграды стояла в месте соударения тонкая, но прочная преграда, отражающая волны, как в предыдущем примере они отражались от поверхности земли. В результате возникает область нерегулярного отражения с усиленным действием взрыва на расстоянии от преграды, примерно равном ее ширине. Это видно на последней схеме рис. 31.

Можно рассмотреть еще такой случай, когда волна обтекает преграду ограниченной высоты и ширины. Здесь обтекание происходит как сверху, так и с боковых сторон. В результате этого в зоне нерегулярного отражения волны сходятся сразу с трех сторон и усиление действия взрыва оказывается настолько значительным, что избыточное давление ударной волны не только достигает величины избыточного давления ударной волны до ее удара о преграду, но и значительно превосходит это давление. В этом случае в определенной части пространства за преградой разрушающее действие взрыва оказывается сильнее, чем в случае отсутствия преграды.

Распределение областей повышенного и пониженного давления ударной волны при обтекании преграды, высота которой равна половине ширины, показано в плане на рис. 32. Здесь важно отметить то, что наибольшее снижение действия взрыва получается не в средней части площади, закрываемой преградой от действия ударной волны, а по сторонам от средней линии. Эта особенность является несколько неожиданной и вместе с тем

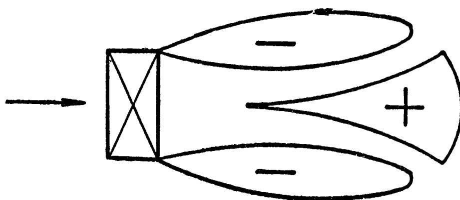


Рис. 32. Схема зон пониженного (—) и повышенного (+) действия воздушной ударной волны за преградой

проявляется достаточно сильно. С ней необходимо считаться всегда при использовании различных местных объектов для защиты от действия атомного взрыва.

Перейдем теперь к рассмотрению сил, действующих в целом на преграду, воспринимающую нагрузку от ударной волны. Если бы преграда была очень большой по размерам в сравнении с глубиной сжатой зоны воздуха, то общая сила, действующая на преграду, получилась бы в результате умножения избыточного давления на площадь преграды, воспринимающей это давление.

Если преграда невелика по сравнению с глубиной ударной воздушной волны, то начинается обтекание преграды, которое мы рассмотрели выше. Далее следует переход к такому установившемуся обтеканию преграды потоком воздуха, какое наблюдается, например, при обычном достаточно сильном ветре. Переходное состояние длится в течение времени, необходимого, чтобы волна разрежения и вихревое движение охватили бы преграду полностью. Это время t_1 может быть вычислено приближенно так:

$$t_1 = \frac{B}{340} \text{ сек.}$$

Здесь B — ширина преграды в метрах. Если t_1 мало по сравнению со временем действия избыточного давления τ, то можно считать, что действие воздушной ударной волны в этом случае подобно действию порыва урагана с наибольшей скоростью ветра $U_ф$.

Приближенно можно считать, что такое обтекание преграды будет происходить тогда, когда t_1 в десять и более раз меньше, чем τ. На основании этого можно найти ширину такой преграды, на которую действие ударной волны приближается к действию порыва ветра.

Если, например, $q = 15$ млн. кг и $R = 100$ м, то $B \leqslant 22$ м.

Этот вывод справедлив для случая, часто встречающегося на практике, — когда период собственных колебаний преграды, подверженной воздействию ударной волны, превосходит время ее обтекания t_1 волной.

Таким образом, дома средних размеров ($B \leqslant 22$ м) и тем более такие объекты, как заводские трубы, стальные мосты, мачты электропередач, телеграфные столбы и т. д., в основном воспринимают ударную волну мощного взрыва как внезапно налетевший ураган.

5. Влияние рельефа местности на действие воздушной ударной волны

Рассмотрим, как ведет себя воздушная ударная волна, набегая на наклонную преграду, например на откос холма, обращенного в сторону взрыва. Пусть угол между фронтом ударной волны и откосом будет больше 45°. Это значит, что здесь возникают условия, при которых получается нерегулярное отражение воздушной ударной волны. На рис. 33 показано несколько последовательных положений волны, набегающей на передний скат холма. Около поверхности откоса получается ярко выраженная область нерегулярного отражения, и вдоль этой поверхности идет головная волна с давлением, повышенным по сравнению с первоначальной волной. Если скат уже находился в зоне нерегулярного отражения, то на него надвинется уже образовавшаяся головная волна. Вблизи откоса образуется вторичная головная волна, существенно более сильная, чем первичная. Отсюда следует, что на скатах, обращенных в сторону взрыва, действие воздушной ударной волны будет всегда

заметно возрастать. Наоборот, на обратных скатах, когда волна, огибая вершину холма, ослабляется, действие взрыва соответственно снижается.

Если на карте показаны горизонтали, то, используя приведенные здесь соображения, можно установить, как

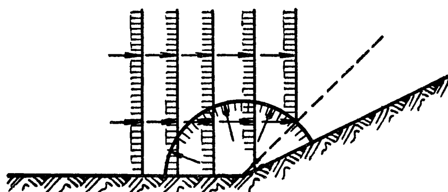


Рис. 33. Изменение фронта ударной волны при набегании ее на наклонную преграду (холм)

изменится зона поражений под влиянием рельефа местности. На рис. 34 в плане показаны горизонтали, очерчивающие удлиненный холм. Пусть вблизи бокового откоса этого холма произошел взрыв атомной бомбы. На рис. 34 схематически, пунктиром, отмечена круговая зона разрушений, которая осуществилась бы при взрыве над плоской местностью. Жирной линией показаны действительные размеры зоны разрушений с учетом влияния холма на воздушную ударную волну.

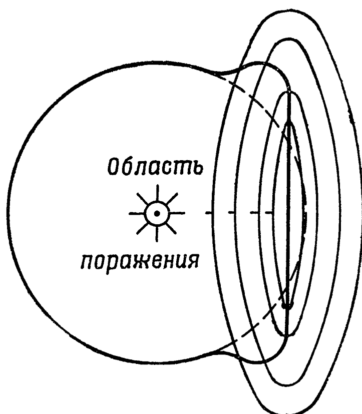


Рис. 34. Изменение области поражения при наличии типового рельефа местности (холм показан горизонталями)

Основное правило, которое в общем объединяет влияние рельефа местности на воздушную ударную волну, состоит в том, что волна, набегающая на передний скат холма, обычно нерегулярно отражается от этого ската, как показано на рис. 35. Вдоль ската движется новая головная волна, более сильная, чем та, которая подошла к подошве холма. Усиление, получаемое при этом, обычно колеб-

лется в пределах от двукратного повышения избыточного давления на склонах с крутизной 35—45° и более до повышения на несколько процентов при углах откоса 5—10°.

Необходимо отметить, что наибольшее усиление ударной волны получается на откосе с крутизной, нарастающей от подошвы к вершине. Если при приближении к вершине крутизна откоса начинает уменьшаться, то это приводит к уменьшению давления на фронте волны. Поэтому обычно переход от прямого ската к обратному,

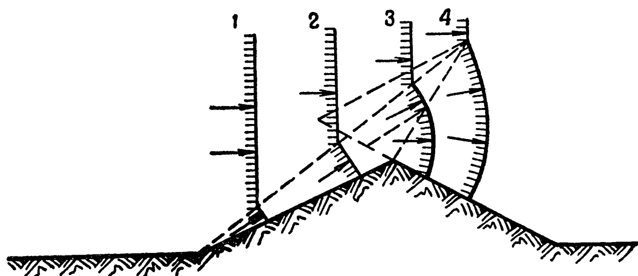


Рис. 35. Последовательные моменты (*1*, *2*, *3*, *4*) обтекания холма воздушной ударной волной

если он совершается плавно, сравнительно мало влияет на изменение давления ударной волны. Конечно, на обратном скате давление меньше, но это уменьшение может начаться и на прямом скате при уменьшении крутизны откоса.

Движение волны вдоль откоса показано схематически на том же рис. 35. Здесь следует обратить внимание на то, как волна обтекает вершину холма, постепенно заходя на обратный скат. При этом на некоторой высоте над холмом наблюдается клинообразная область с усиленным действием волны.

Если за первым холмом имеется второй, то волна, спускающаяся с первого, встречает откос второго холма, приближаясь к нему иначе, чем к прямому скату первого холма. Это показано на рис. 36. В этом случае относительное увеличение давления при набегании волны на второй холм будет больше, чем при набегании на первый.

Во всех указанных случаях рельеф местности только тогда производит заметное действие, когда размеры от-

косов, складок и долин превосходят глубину сжатой зоны за фронтом воздушной ударной волны.

Таким образом, заметное влияние на воздушную ударную волну атомного взрыва могут оказать сравнительно крупные неровности местности.

Неровности местности также могут оказывать влияние на воздушную ударную волну потому, что в достаточно глубоких долинах направление и скорость ветра, а также и температура воздуха нередко сильно отличаются от того, что наблюдается в открытых местах.

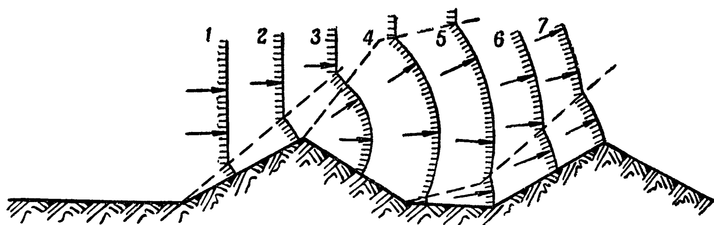


Рис. 36. Последовательные моменты (*1*, *2*, *3*, *4*, *5*, *6*, *7*) обтекания двух холмов ударной волной

Следовательно, холмистая, среднепересеченная местность уменьшает зону поражения от атомного взрыва, особенно если холмы имеют высоту более 100 метров, а крутизна их скатов превышает примерно 10°. При этом на скатах, обращенных в сторону взрыва, где ударная волна встречает препятствие, создается более высокое давление, а следовательно, и ее разрушающее действие будет бо́льшим. На обратных же скатах образуется своеобразная «тень», в зоне которой действие взрывной волны понижено. Однако следует иметь в виду, что в лощинах и оврагах, направление которых совпадает с распространением ударной волны, возможно значительное местное увеличение давления.

В горной местности зона поражения может оказаться меньше, чем на равнине, а очертание ее вследствие разнообразия рельефа искаженным. В узких долинах, лощинах и ущельях, если они обращены своим входом в сторону взрыва, резкое увеличение давления ударной волны возможно еще в большей степени, чем на пересеченной местности. В горах возможны также обвалы, падение камней, снежные лавины, которые могут возникнуть

даже сравнительно далеко за пределами зоны поражения атомной бомбы. Взрыв атомной бомбы вблизи ущелья или в узкой долине реки с высокими обрывистыми берегами способен привести к обвалу, который может сопровождаться затоплением прилегающей местности.

6. Влияние метеорологических условий на распространение и действие воздушной ударной волны

При взрыве обычных авиабомб, снарядов и зарядов различного типа, когда вес взрывчатого вещества не превышает нескольких тонн, влияние погоды на действие воздушной ударной волны сравнительно невелико и его обычно не учитывают. Однако чем больше заряд и чем дальше передается его разрушающее действие, тем сильнее проявляется влияние погоды на его действие. Очевидно, при атомных и водородных взрывах такое влияние должно быть особенно значительным. Рассмотрим этот вопрос подробнее.

Влияние погоды на действие взрыва в основном зависит от двух обстоятельств: распределения температуры воздуха на различной высоте над поверхностью земли и распределения скоростей ветра по высоте над поверхностью земли.

Конечно, оба эти фактора влияют, как правило, одновременно и совместно. Однако для большей ясности целесообразно ознакомиться с ними в отдельности. Рассмотрим сначала влияние температуры.

Влияние температуры на распространение ударной волны. Как уже указывалось выше, скорость распространения ударной воздушной волны равна

$$D = c\sqrt{1 + 0{,}86\,\frac{\Delta p_{\text{ф}}}{p_0}}.$$

Величина c, стоящая перед корнем, представляет собою скорость звука в воздухе (в метрах в секунду).

Можно считать, что скорость распространения ударной волны прямо пропорциональна скорости распространения звука, так как в практически интересующих пределах изменения слагаемого $0{,}86 \cdot \frac{\Delta p_{\text{ф}}}{p_0}$ его влиянием в первом приближении можно пренебречь. В свою очередь

скорость звука зависит от температуры. Она прямо пропорциональна корню квадратному из абсолютной температуры. Как известно, абсолютная температура T отсчитывается от абсолютного нуля, лежащего на 273 градуса ниже нуля по общепринятой шкале температуры Цельсия, то есть $T = t + 273$, где T — абсолютная температура, t — температура по шкале Цельсия.

Можно считать, что скорость звука равна

$$V_{зв} = 332 \sqrt{\frac{273 + t}{273}} \text{ м/сек.}$$

Здесь 332 м/сек есть скорость звука при 0° С.

Если t изменяется в пределах от +60° до —60°, то можно с достаточной точностью вести расчет по такой формуле:

$$V_{зв} = 332 + 0,5t.$$

Таким образом, приводившееся выше значение скорости звука, равное 340 м, соответствует температуре, равной 15° С.

Обычно температура воздуха различна на разных высотах. Например, в жаркий летний полдень слой воздуха вблизи поверхности земли будет очень сильно нагрет. Такое явление чаще всего наблюдается летом в ясную малооблачную погоду. Наиболее ярко выражено это явление над пустынями и выжженными степями. Верхние слои воздуха здесь заметно холоднее, и на высоте в несколько километров температура значительно ниже 0° С.

В этом случае скорость звука, а следовательно, и скорость ударной волны, распространяющейся вдоль поверхности земли, будут заметно больше скорости звука и ударной волны, идущих вертикально вверх, что приведет к изменению формы фронта волны. Например, при наземном взрыве, как это было рассмотрено выше, в воздухе с постоянной температурой получается ударная волна, ограниченная поверхностью в форме полушара. Если же температура воздуха уменьшается с высотой, то полусферическая форма фронта волны изменится. Вдоль поверхности земли в нагретом воздухе волна уйдет сравнительно далеко; наоборот, наверху, в холодном воздухе, волна пройдет заметно меньшее расстояние. Получающееся в результате этого изменение формы

фронта волны показано на рис. 37. Здесь же, справа, показано и изменение температуры T с высотой.

Не очень сильные ударные волны распространяются по направлению, приблизительно перпендикулярному фронту волны. Поэтому изменение формы фронта должно привести к изменению направлений распространения волн. Это также показано на рис. 37. Из рисунка видно, что направления распространения волны под влиянием температуры искривляются вверх. Это приводит к тому, что основная часть энергии ударной волны удаляется

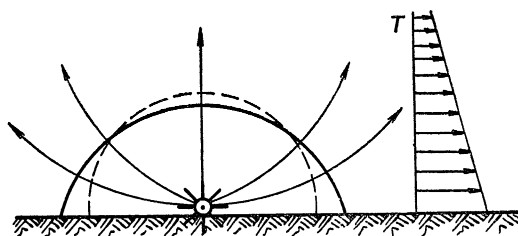


Рис. 37. Отклонение направления распространения ударной волны при наличии более теплого воздуха у поверхности земли

от поверхности земли и волна вблизи этой поверхности существенно ослабляется. Чем дальше уходит ударная волна от места взрыва, тем заметнее становится ее ослабление. На расстоянии 10—20 км можно при благоприятных условиях получить уменьшение избыточного давления, что может привести к уменьшению радиуса соответствующих разрушений, например выбивания стекол. Выбивание же стекол также может явиться серьезным способом поражения, так как вблизи окон в зданиях могут находиться люди.

Таким образом, можно считать, что в жаркий летний день, когда воздух сильно нагрет вблизи земли, действие воздушной ударной волны сильно ослабляется на расстояниях порядка 10 км и более, а это заметно снижает эффективность действия атомного взрыва.

Совершенно обратная картина получается тогда, когда имеется противоположное распределение температуры воздуха, показанное на рис. 38. Воздух вблизи поверхности земли сильно охлажден, а на высоте имеются более теплые массы воздуха. Здесь волна будет более

быстро распространяться вверх и более медленно у поверхности земли. Это приведет к такому изменению формы фронта ударной волны в воздухе, которое показано на рис. 38. Здесь видно искривление путей распространения волны вниз, в сторону поверхности земли. Мы имеем здесь картину прямо противоположную той, которую можно было видеть на рис. 37. При искривлении путей

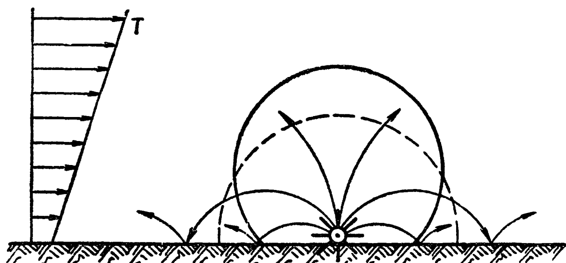


Рис. 38. Отклонение направления распространения ударной волны при наличии более холодного воздуха у поверхности земли

распространения ударной волны вниз в слое воздуха вблизи поверхности земли создается усиленное действие взрыва, а радиус разрушения может существенно увеличиться, если его первоначальная величина примерно равна 10 км и более.

Распределение температур воздуха, при котором наиболее холодные слои находятся внизу, вблизи поверхности земли, обычно наблюдается в ясные и холодные ночи, особенно на рассвете, когда бывают заморозки (весной и осенью), или при сильных морозах зимой. В этих условиях эффективность действия атомных и водородных бомб должна соответственно повыситься.

Влияние ветра на распространение ударной волны. Перейдем к выяснению влияния ветра на ударную волну. Иногда высказывают предположения, что ветер может усилить действие ударной волны потому, что давление ветра прибавляется к давлению ударной волны, если она распространяется в ту сторону, куда дует ветер. Если же волна идет против ветра, то она должна быть ослаблена. Эти соображения правильны, но они не отражают гораздо более сильного влияния ветра.

Дело состоит в следующем. Обычно скорость ветра на различной высоте над поверхностью земли бывает разной, причем в большинстве случаев вблизи земли скорость меньше, а при подъеме на высоту скорость возрастает (рис. 39). При таких условиях ветер будет в той или иной мере изменять форму фронта волны. Если при наземном взрыве в однородном и неподвижном воздухе фронт волны имеет форму правильного полушара, то при

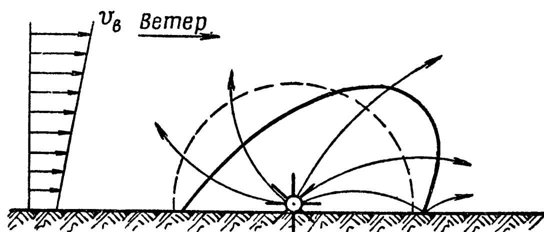


Рис. 39. Распространение ударной волны при наличии нарастающего по высоте ветра

наличии нарастающего с высотой ветра фронт волны окажется как бы перекошенным в сторону, куда направлен ветер. Это и показано на рис. 39.

Искривление фронта волны, так же как и при влиянии температуры на волну, приводит к искривлению путей распространения волны. Особенностью влияния ветра при этом является резкое различие в форме путей распространения волны со стороны, откуда дует ветер, и со стороны, куда он дует (рис. 39). С той стороны, откуда направлен ветер, ударная волна отклоняется вверх и отрывается от поверхности земли. Наоборот, в противоположном направлении искривление волны приводит к усилению ее действия. В результате этого может оказаться, что в направлении ветра действие взрыва будет передаваться на расстояние, в несколько раз большее, чем без ветра. Наоборот, в направлении против ветра это расстояние будет уменьшено в несколько раз. В целом получается, что область разрушающего действия взрыва при ветре увеличивается и смещается.

Ветер и переменная температура при совместном действии могут оказать еще более сильное влияние на действие ударной волны. Например, если после большого заморозка подует над поверхностью холодной земли силь-

ный, нарастающий с высотой ветер, то увеличение действия взрыва по направлению, куда дует ветер, будет особенно значительным. Наоборот, в летний жаркий день действие ветра, усиливающее воздушную ударную волну, должно проявляться гораздо слабее. Все эти особенности будут проявляться тем сильнее, чем больше калибр ядерного заряда.

7. Ударные волны в плотных средах

Ударные волны в воде при подводном ядерном взрыве. При действии ядерным оружием против кораблей, портовых и гидротехнических сооружений и т. д. весьма эффективным может оказаться подводный взрыв. Такой взрыв имеет существенные отличия от взрыва в воздухе. Если заряд погружен в воду на глубину не менее 15—25 м (в зависимости от калибра), то световое и проникающее излучения взрыва не вырываются из воды наружу и поглощаются массой воды. За счет поглощенной энергии происходит образование больших масс водяного пара, который быстро расширяется, частично выбрасывает вверх громадный столб воды высотой более километра, а частично отдает свою энергию на образование в воде мощной ударной волны. Ударная волна в воде, принцип образования которой примерно такой же, как в воздухе, качественно напоминает ударную волну в воздухе. Эта волна снаружи ограничена резким скачком уплотнения (фронтом волны). На фронте волны давление воды оказывается наибольшим. Далее, за фронтом, оно постепенно снижается, доходит до нормального и несколько снижается даже ниже нормального.

Скорость распространения ударной волны в воде более постоянна, чем в воздухе, и довольно велика. Она практически совпадает со скоростью распространения звука в воде (примерно 1500 м/сек).

На одном и том же расстоянии давление на фронте ударной волны в воде гораздо больше, чем в воздухе. Это обусловлено прежде всего значительной плотностью воды и малой ее сжимаемостью.

Характерной особенностью ударной волны в воде является то, что, встречая неподвижную преграду на пути дальнейшего распространения волны, она весьма мало повышает свое давление. Это обусловлено тем, что ско-

рость движения воды за фронтом ударной волны очень невелика, так как вода мало сжимаема и поэтому ей почти некуда перемещаться при распространении ударной волны.

Время действия избыточного давления в воде примерно в 130 раз меньше, чем в воздухе. Глубина ударной волны сравнительно невелика. Эта глубина зависит от заглубления атомного заряда в воду, которое он имел в момент взрыва. Действительно, если взрыв ядерного заряда произошел на сравнительно небольшой глубине, то ударная водяная волна, идущая вверх, очень быстро достигает поверхности воды. Здесь давление на фронте ударной волны приводит к весьма быстрому отрыву поверхностного слоя воды от остальной ее массы. Этот слой разбивается на мелкие брызги, которые с большой силой выбрасываются вверх. Находящиеся ниже слои воды как бы вскипают и превращаются в пену. Все это приводит почти к мгновенному исчезновению избыточного давления. У поверхности воды возникает волна разрежения, которая начинает двигаться вниз, в глубь воды, со скоростью, равной скорости звука в воде. Так как волна разрежения распространяется в воде, дополнительно уплотненной волной сжатия, то волна разрежения догоняет волну сжатия и частично входит в сжатую зону воды и здесь снимает избыточное давление. Взаимодействие волны сжатия и волны разрежения показано на рис. 40.

Необходимо при рассмотрении этого рисунка учесть, что волна разрежения имеет такой же сферический фронт, как и волна сжатия. Однако центр, из которого следует строить окружность, изображающую фронт волны разрежения, смещен вверх относительно центра взрыва. Центр волны разрежения находится на такой высоте над поверхностью воды, которая равна глубине погружения заряда в воду. У самой поверхности воды ширина сжатой зоны равна нулю, а глубже эта ширина увеличивается и наконец на определенной глубине доходит до первоначальной своей величины.

Волна разрежения уменьшает разрушения от подводного взрыва, и весьма заметно. Это явление выражается тем сильнее, чем меньше глубина погружения заряда в воду. Поэтому в мелких водоемах с прочным дном, когда ядерный заряд в большинстве случаев не сможет проник-

нуть в глубь массива породы, образующей дно, разрушения при атомном взрыве будут меньше, чем при более значительной глубине воды. Таким образом, мелководье даже с учетом отражения ударной волны от дна (в допускаемых пределах) является средством защиты кораблей, портовых сооружений и других объектов, соприкасающихся с водой или находящихся в воде. В иностранной

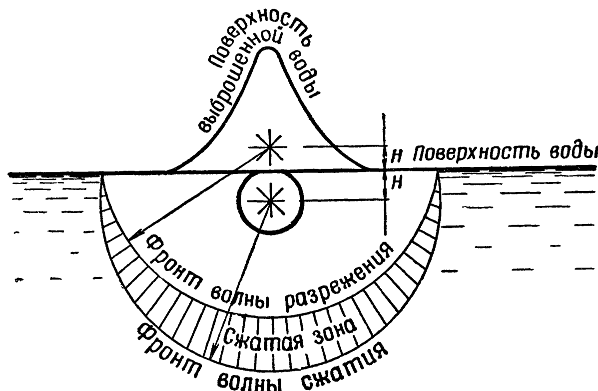


Рис. 40. Волна сжатия и волна разрежения при подводном взрыве

печати указывается, что еще лучшей защитой особо ответственных объектов (например, мощных плотин, крупных гидростанций) может явиться покрытие поверхности воды плотами или понтонами со сплошным слоем камня, то есть «бронирование» поверхности воды, чтобы ядерная ракета или бомба взрывалась на поверхности воды или на минимальной глубине.

Взрывные волны в грунте. Взрывные волны в грунте получаются тогда, когда на поверхности земли или на некоторой глубине происходит взрыв. В этих случаях взрыв непосредственно действует на массу грунта и вызывает в нем перемещение частиц и повышение давления примерно так же, как и при взрыве в воде.

Имеется и другой путь возникновения взрывных волн в грунте. На поверхность земли может подействовать воздушная ударная волна или ударная волна взрыва в воде. Под этим воздействием в грунте также возникает ударная волна, причем на его поверхности давление

ударной волны равно давлению в ударной волне в воздухе или в воде. При дальнейшем распространении через грунт взрывная волна сильно видоизменяется, давление в ней заметно уменьшается, а время сильно возрастает.

Это вызывается следующими обстоятельствами. Обычно грунты такого вида, как песок, глина, супесь и т. д., имеют определенную структуру. Частицы в грунтах находятся в определенном положении, и при воздействии на грунт какой-либо силы происходит прежде всего некоторое сжатие и небольшое перемещение частиц относительно друг друга. Однако при этом структура грунта сохраняется. Если сила, воздействующая на грунт, возрастает, то наступает такое смещение частиц, когда они теряют свое первоначальное положение. Структура грунта разрушается, происходит значительное его уплотнение и создается новая, более плотная структура грунта, которая обычно может выдержать очень большие нагрузки без ее дальнейшего разрушения.

Описанные изменения грунта при воздействии на него тех или иных нагрузок происходят также и при прохождении через грунт взрывной волны. При этом наиболее быстро через грунт передаются небольшие избыточные давления. Это происходит потому, что при небольших избыточных давлениях структура грунта не разрушается и оказывается способной передавать смещения и нагрузки с большой скоростью. Более значительные нагрузки, вызывающие разрушение структуры грунта и сильное его сжатие, передаются через него медленно. Поэтому большие избыточные давления распространяются в грунте обычно медленнее, чем малые избыточные давления. В этом отношении мягкие грунты резко отличаются от воздуха или воды, где наблюдается обратное: чем больше избыточное давление, тем оно быстрее распространяется.

Вследствие этого распределение избыточного давления во взрывной волне в грунте существенно отличается от распределения избыточного давления в воздухе и в воде. Это показано схематически на рис. 41, где приведены графики изменения избыточного давления с течением времени в воздушной ударной волне, воздействующей на грунт, и во взрывной волне на различной глубине внутри грунта. Поскольку начальные малые сжатия перемещаются быстрее более сильных, то максимальные

давления все более и более отодвигаются назад и уменьшаются, а волна все более и более растягивается. Эти особенности взрывной волны в грунтах не позволяют такую волну называть ударной потому, что обычно ударной волной считают такую, у которой в начале ее действия избыточное давление скачкообразно возрастает до наибольшего его значения и пик давления сдвигается вперед к фронту волны.

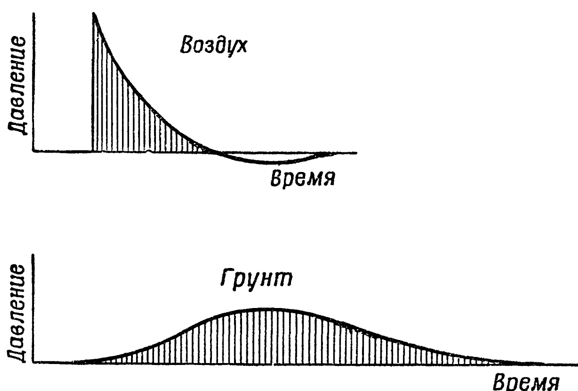


Рис. 41. Изменение давления в воздухе и в грунте при взрыве

Увеличение длительности действия взрывной волны, замедление роста избыточного давления и снижение наибольшего давления взрывной волны приводят к снижению разрушающего действия.

Вследствие этого сооружения, заглубленные в грунты даже всего на несколько метров, оказываются обычно хорошо защищенными от действия взрыва, происходящего в воздухе.

Несколько иначе происходит действие взрыва, если заряд взрывается внутри грунта и при этом на достаточной глубине.

В таких условиях основная часть всей энергии взрыва передается окружающей массе грунта и производит мощное сотрясение грунта, напоминающее по своему действию землетрясение.

Поэтому взрывные волны и их разрушающее действие

называют сейсмическими, а соответствующую величину R радиусом сейсмического действия.

Сейсмическое действие ядерного взрыва в мягких грунтах оказывается весьма значительным, особенно при сильном их увлажнении, в частности при высоком положении уровня грунтовых вод, и простирается на расстояние, превосходящее расстояние соответствующего разрушающего действия воздушной ударной волны.

Значение радиуса сейсмического действия в скальных породах в несколько раз меньше. Однако это справедливо для зоны сравнительно сильного действия. На более значительных расстояниях, наоборот, сейсмическое действие интенсивнее затухает в мягких грунтах и передается с меньшим ослаблением в скальной породе.

На сравнительно небольших расстояниях от центра подземного взрыва порода получает столь значительную скорость, что выбрасывается на значительное расстояние и в грунте образуется воронка.

Выбрасываемый в значительных количествах из воронки грунт может лететь на большие расстояния и наносить своим ударом поражения людям, зданиям и технике или просто засыпать их. Воздушная ударная волна при таких условиях направлена в основном вверх, и разрушения, производимые ею вблизи поверхности земли, должны быть сравнительно небольшими.

8. Поражающее действие ударной волны

Воздействие ударной волны на людей. Характер и степень поражения людей при ядерном взрыве зависят от условий, в которых они находились в момент взрыва: расстояния от центра взрыва, положения в момент взрыва, степени защиты и пр. Воздействуя на незащищенного человека, ударная волна способна нанести различные травмы, в основном такого же характера, как и при взрыве обычных снарядов и бомб, снаряженных, например, тротилом. Однако зона поражения при ядерном взрыве будет гораздо больше, чем при взрыве обычных боеприпасов.

Ударная волна ядерного взрыва оказывает на людей и животных непосредственное (прямое), а также косвенное воздействие, когда они поражаются летящими и

падающими обломками разрушаемых зданий и сооружений.

При непосредственном воздействии ударная волна может причинить смертельные повреждения человеческому организму только тогда, когда избыточное давление во фронте ударной волны будет достигать определенной величины.

В этом случае действие ударной волны на человека приводит к повреждениям легких, барабанных перепонок, вызывает внутреннее кровоизлияние. При атомной бомбардировке американцами японских городов Хиросима и Нагасаки установлены случаи смертельных ранений людей в результате прямого воздействия ударной волны на расстоянии до 800 м от эпицентра взрыва. На этом расстоянии давление во фронте волны составляло 1,2—1,3 кг/см^2.

Однако при взрыве ядерных бомб над японскими городами непосредственное воздействие ударной волны на людей не являлось основной причиной их гибели и ранения. Основную роль играло косвенное воздействие ударной волны, то есть поражения под влиянием вторичных факторов: обрушивающихся зданий, обломков и бревен, увлекаемых ударной волной, летящих предметов. Косвенное воздействие являлось причиной ранений и повреждений весьма различного характера — от незначительных (царапин, ушибов) до смертельных. Косвенное воздействие ударной волны приводило к поражению людей на значительных расстояниях. В Хиросиме и Нагасаки отмечены случаи ранения людей обломками зданий на расстоянии до 3200 и 3700 м от эпицентра взрыва, а тяжелые ранения — на расстоянии до 2000 м. В результате косвенного воздействия ударной волны в Хиросиме и Нагасаки больше всего жертв было отмечено среди людей, находившихся в помещениях, в которых вероятность поражения обломками разрушаемых зданий была наибольшей.

Травмы, возникающие под действием ударной волны, принято подразделять на легкие, средние, тяжелые и крайне тяжелые.

Легкие травмы возникают при избыточном давлении в ударной волне 0,2—0,4 кг/см^2 и известны при воздушном взрыве атомной бомбы среднего калибра на расстояниях до 2,5 км. Они обычно характеризуются временными

повреждениями слуха, общей легкой контузией, ушибами, вывихами конечностей.

Травмы средней тяжести возникают при давлении ударной волны приблизительно 0,5 кг/см² и наблюдаются на расстояниях до 2 км от места взрыва бомбы среднего калибра. При этих травмах может быть серьезная контузия всего организма, повреждение органов слуха, кровотечение из носа и ушей, переломы и сильные вывихи конечностей.

Тяжелые травмы возникают при давлении ударной волны свыше 0,5 кг/см² и известны на расстоянии до 1,5 км от места взрыва бомбы среднего калибра. Для них характерны сильная контузия всего организма, сильное кровотечение из носа и ушей и тяжелые переломы конечностей [1].

При давлениях свыше 1 кг/см² образуются травмы крайне тяжелой степени.

Среди пострадавших в Хиросиме и Нагасаки приблизительно 70% имели открытые раны (порезы и рваные раны); ушибы (контузии) и переломы — 10—20%. Причиной более 60% открытых ранений были летящие предметы: осколки стекла, обломки строений, а свыше 50% ушибов было вызвано обломками обрушивающихся зданий. Повреждения, причиненные летящими предметами и обломками обрушивающихся зданий, составили 70—80% всех травм [2].

По данным иностранной печати, в Хиросиме до 50% смертельных случаев было вызвано воздействием ударной волны. Следует заметить, что в некоторых случаях действие ударной волны на людей оказывалось различным даже на одинаковых расстояниях от эпицентра взрыва. Причина заключается в том, что условия распространения ударной волны не везде одинаковы. На ее распространении сказывается экранирующее влияние различных местных предметов, например зданий, а также рельефа местности: холмов, возвышенностей и т. д. Приведем несколько характерных случаев прямого воздействия ударной волны при атомных взрывах в Хиросиме и Нагасаки. Люди, например, которые во время взрыва на-

---

1 «The Effects of Atomic Weapons», New York, 1950.

2 Х. Мацуда, К. Халси. Ядерное оружие и человек. Перевод с японского. Издательство иностранной литературы, 1959.

ходились на дамбе на расстоянии 800 м от эпицентра взрыва, были сброшены в реку. Человек, находившийся на удалении 1200 м от эпицентра взрыва, был отброшен на 10 м, а находившийся на удалении в 2000 м от эпицентра, был повален на землю. У людей, находившихся на горе в 9000 м от эпицентра взрыва, слетели головные уборы. Таково прямое воздействие ударной волны при взрыве ядерной бомбы с тротиловым эквивалентом 20 тыс. т.

Отметим также, что в населенных пунктах от воздействия ударной волны могут возникнуть пожары, причиной которых будут разрушения печей и повреждения газовых и электрических сетей. Пожары в свою очередь могут стать причиной поражения людей.

Воздействие ударной волны на различные сооружения и объекты. Разрушающее действие воздушной ударной волны вызывается тем, что она, встречая на своем пути какое-либо препятствие, производит на него значительное давление. Если, например, воздушная ударная волна встречает на своем пути дом, то она производит прежде всего удар по той стене дома, к которой она подошла. Движущиеся массы воздуха производят давление на стенку, во-первых, потому, что этот воздух сильно сжат, и, во-вторых, потому, что его перемещение задерживается стеной и энергия движения переходит в энергию давления, которое соответственно повышается. По краям стены уплотненная масса воздуха немедленно после своего образования начинает обтекать стену. Область, в пределах которой воздух вовлечен в движение обтекания, быстро увеличивается, и через небольшой промежуток времени почти вся масса уплотненного при ударе о стену воздуха оказывается вовлеченной в движение обтекания преграды.

Вследствие того, что наступает обтекание, первоначальная сила, действующая на дом, уменьшается. Это уменьшение прежде всего связано с тем, что снижается давление в массах воздуха, уплотненных волной у передней стены здания. Кроме того, как показано на рис. 42, волна, обтекая здание, оказывает давление на него сзади и с боков, а также, проникая внутрь здания через окна и двери, повышает давление воздуха внутри здания.

Характерным разрушением, производимым воздушной ударной волной, является выбивание стекол, которое про-

исходит при избыточных давлениях, равных нескольким сотым долям килограмма на квадратный сантиметр. В этом случае оконное стекло размером, например, $0,5 \times 0,5$ м, то есть с площадью 0,25 м², получает нагрузку не менее 25 кг. Этой силы, конечно, вполне достаточно для разрушения стекла. Необходимо заметить, что длительно действующее избыточное давление ударной

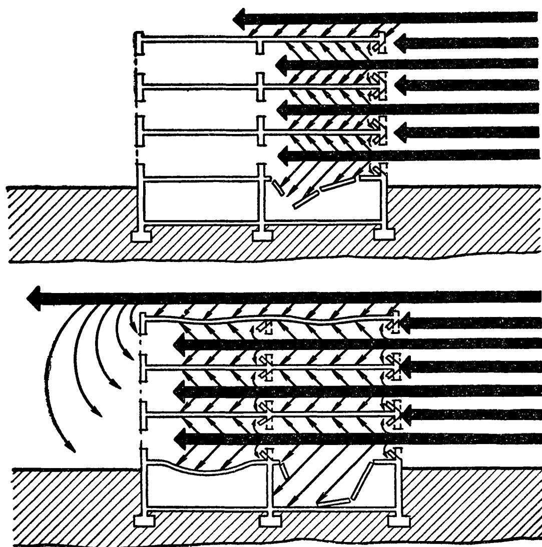


Рис. 42. Обтекание и проникание ударной волны в здание

волны способно бросить осколки выбитых стекол внутрь здания с такой силой, что эти осколки могут нанести тяжелые поражения людям внутри здания.

Подземные укрытия с перекрытиями, не выступающими над поверхностью земли, испытывают примерно такое же удельное давление, как и сама поверхность земли. Если волна идет вдоль поверхности земли, то есть если мы имеем дело с ударной волной наземного взрыва или головной волной, полученной в результате нерегулярного отражения при воздушном взрыве, то давление на поверхность перекрытия будет равно избыточному давлению воздуха на фронте волны.

Избыточные давления в несколько килограммов на

квадратный сантиметр или несколько десятков тонн на квадратный метр могут быть восприняты обычными дерево-земляными укрытиями полевой фортификации и убежищами МПВО.

Убежища из монолитного железобетона или железобетонных элементов могут выдержать действие воздушного взрыва атомной бомбы среднего калибра в любой точке, в частности даже в эпицентре, то есть непосредственно под местом взрыва. Это справедливо, если высота точки взрыва над поверхностью земли составляет не менее 300 м.

Рассмотрим действие ударной волны при взрыве заряда с тротиловым эквивалентом 20 тыс. т. Значительные разрушения в Хиросиме и Нагасаки были вызваны главным образом воздействием мощной ударной волны атомных взрывов. Степень повреждения зданий, их устойчивость при атомном взрыве зависит в первую очередь от мощности взрыва, а также от типа, прочности конструкции, размеров здания, материалов, из которых они построены, положения здания среди местных предметов и расположения его на местности и, наконец, от расстояния до места атомного взрыва.

Одноэтажные бетонные здания (заводские корпуса) в Хиросиме получили сильные повреждения на расстоянии до 1600 м от эпицентра взрыва. Многоэтажные здания с железобетонным каркасом, а также промышленные здания со стальным каркасом были полностью разрушены на расстоянии до 700 м, а серьезные повреждения такие здания получили на расстоянии до 1500 м от эпицентра взрыва.

Бескаркасные кирпичные здания разрушаются на бóльших расстояниях, чем каркасные или железобетонные здания. Кирпичные многоэтажные бескаркасные здания полностью разрушаются на расстоянии до 1600 м от эпицентра взрыва. Жилые легкие каркасные деревянные дома (малопрочные) разрушаются на расстоянии до 4000 м от эпицентра взрыва.

Радиусы зон разрушения [1] зданий и повреждения боевой техники приведены на рис. 43.

При воздушном взрыве ядерного заряда с тротиловым эквивалентом 20 тыс. т. (высота взрыва $H = 600$ м)

[1] Противоатомная защита (перевод с английского). Издательство иностранной литературы. Москва, 1958.

тяжелые повреждения могут получить танки, находящиеся на расстоянии до 200 м от эпицентра взрыва, радиолокаторы — на расстоянии до 1200 м, самолеты, находящиеся на земле, — на расстоянии до 1600 м. Разрушение остекления может быть на расстояниях до 8—12 км от места взрыва.

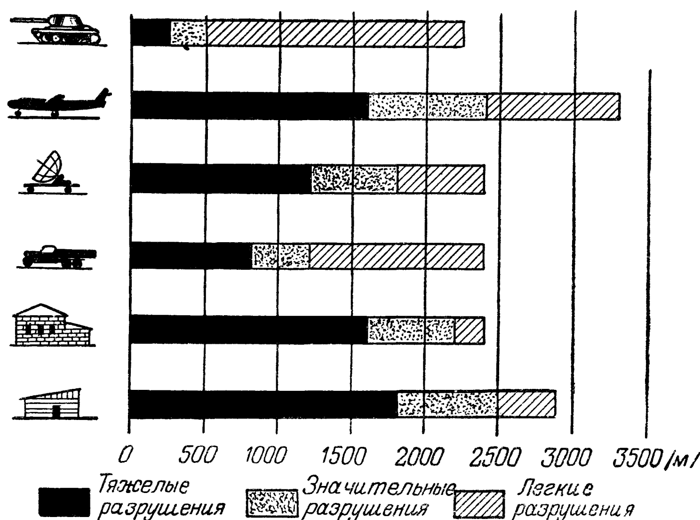


Рис. 43. Радиусы зон разрушения зданий и повреждения боевой техники при воздушном взрыве атомной бомбы (q = 20 тыс. т)

Поражение военных кораблей различных классов характеризуется следующими ориентировочными данными. Вывод корабля из строя или очень тяжелые повреждения могут быть на расстояниях до 800—1000 м от центра взрыва заряда среднего калибра; сильные повреждения надстроек, котлов и оборудования — на 1000—1200 м, средние повреждения — до 1350 м и легкие — до 1650 м. Понятно, что степень поражения во многом зависит от класса корабля. Условия взрыва (глубина водоема, глубина взрыва и пр.) также влияют на величину радиуса поражения.

С ростом калибра ядерного заряда радиус поражения ударной волной растет пропорционально не калибру

бомбы, а корню кубическому из энергии взрыва. Так, если мощность одной бомбы в 1000 раз больше другой, то радиус поражения ударной волны первой бомбы больше соответствующего радиуса второй в $\sqrt[3]{1000}$, то есть в 10 раз.

Интересно отметить, что с ростом калибра ядерного заряда эффективность ее вообще падает (если принять за показатель эффективности площадь поражения, приходящуюся на единицу тротилового эквивалента). Действительно, суммарная площадь поражения S ударной волной атомного взрыва пропорциональна тротиловому эквиваленту q в степени $^2/_3$, что можно записать так:

$$S = aq^{2/3},$$

где а — коэффициент пропорциональности.

Удельная же площадь поражения S_1, приходящаяся на единицу тротилового эквивалента q, может быть выражена так:

$$S_1 = \frac{S}{q} = \frac{aq^{2/3}}{q} = \frac{a}{q^{1/3}}.$$

Следовательно, с ростом калибра ядерного заряда удельная площадь поражения уменьшается пропорционально корню кубическому из тротилового эквивалента.

Рассмотрим такой пример. Пусть суммарная площадь поражения заряда с тротиловым эквивалентом $q = 20$ тыс. т составляет 3 км². Тогда удельная площадь поражения будет

$$S_1 = \frac{3\,000\,000}{20\,000\,000} = 0{,}15 \text{ м}^2/\text{кг}.$$

Для заряда же с $q = 100$ тыс. т радиус поражения ударной волны увеличивается в $\sqrt[3]{\frac{100\,000}{20\,000}} = \sqrt[3]{5}$, а суммарная площадь поражения возрастет в $\left(\sqrt[3]{5}\right)^2$ и будет в данном случае равна $3 \cdot \left(\sqrt[3]{5}\right)^2 = 8{,}79$ км². Однако удельная площадь поражения составит

$$\frac{8\,790\,000}{100\,000\,000} = 0{,}0879 \text{ м}^2/\text{кг},$$

то есть с ростом калибра в пять раз удельная площадь поражения уменьшилась в $\sqrt[3]{5}$.

Ударная волна ядерного взрыва, кроме механического поражения объектов, может вызвать пожары. Вследствие действия ударной волны разрушаются угольные или дровяные печи, происходит короткое замыкание электропроводок, разрываются газопроводы и т. п. На промышленных предприятиях происходит разрушение печей, котлов, обвал зданий. В результате перечисленных причин могут возникать пожары, которые являются следствием воздействия ударной волны.

Ударная волна способствует также и распространению пожаров. Она выбивает оконные стекла, срывает противопожарные перегородки, разрушает стены и перекрытия крыш, сбивает штукатурку с деревянных стен и потолков, разрушает двери, лестничные клетки, полы и т. д. Через разбитые окна и другие проемы могут залетать горящие обломки от соседних зданий, что способствует распространению огня даже внутри огнестойких зданий. Воспламеняющиеся материалы могут перебрасываться ударной волной через дворы и улицы.

Однако следует заметить, что разрушение зданий, вызванное ударной волной, может также и, наоборот, препятствовать распространению пожаров. Здания с воспламеняющимися каркасами, обрушившись под действием ударной волны, горят не так быстро, ибо негорючие обломки, образованные взрывной волной, могут засыпать воспламеняющиеся материалы и препятствовать их горению.

Другими факторами, способствующими распространению пожаров, являются также возможное повреждение водоснабжения поражаемого объекта, а также вывод из строя части или полностью противопожарной службы. Так, например, в Хиросиме и Нагасаки серьезные повреждения получили распределительная водопроводная сеть и магистрали, что привело к утечке воды и падению напора. Большая часть водопроводных магистралей, проходивших на поверхности земли, была разрушена падающими обломками зданий. Крупная водопроводная магистраль в Нагасаки, находившаяся под землей на глубине около одного метра, была разрушена вследствие неравномерного смещения почвы под давлением ударной

волны. Такая же магистраль в Хиросиме была разрушена вследствие разрушения моста, по которому она проходила. В Хиросиме около 70% противопожарного оборудования было погребено под обломками обрушившихся зданий, не говоря уже о том, что около 80% личного состава противопожарной службы не могли выполнять своих функций. Однако даже если бы люди и оборудование не пострадали от ударной волны, то ко многим очагам пожаров невозможно было бы добраться вследствие завала улиц обломками зданий.

его абсолютной температуры T°K[1]. Этот закон, носящий название закона Стефана — Больцмана, математически выражается так:

$$I_0 = \sigma T^4 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{сек},$$

где σ — постоянный коэффициент, равный $1{,}37 \cdot 10^{-12}$ кал/см^2 · сек · град^4;
T — абсолютная температура излучающей поверхности в градусах К.

Приведенный закон говорит об исключительно большом влиянии температуры поверхности тела на его способность излучать световую энергию. При повышении температуры поверхности тела в два раза интенсивность увеличивается в 16 раз, повышение температуры втрое вызывает рост интенсивности в 81 раз и т. д.

Полное количество световой энергии, излучаемой телом со всей его поверхности за все время свечения t_c, определяется по следующей формуле (если размеры тела и температура его поверхности не меняются со временем свечения):

$$E_{изл} = \sigma T^4 t_c .$$

$E_{изл}$ изменяется обычно в калориях.

2) **Спектральная интенсивность излучения** I_λ, то есть количество световой энергии в калориях, излучаемой с 1 см^2 поверхности тела за 1 сек. в интервале длин волн от λ до $(\lambda + 1)$ микрон, определяется по формуле Планка.

$$I_\lambda = \frac{C_1}{\lambda^5 \left(e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1 \right)} \text{ кал/см}^2 \cdot \text{сек} \cdot \text{микрон},$$

где λ — длина волны в микронах;
T — температура поверхности тела в °К;
C_1 и C_2 — постоянные коэффициенты, которые равны

$$C_1 = 8{,}85 \cdot 10^3 \text{ кал} \cdot \text{микрон}^4/\text{см}^2 \cdot \text{сек}.$$

$$C_2 = 1{,}44 \cdot 10^4 \text{ микрон} \cdot \text{град}.$$

---

[1] Абсолютная температура T отсчитывается по так называемой шкале Кельвина от абсолютного нуля, лежащего при $t = -273$° С, и обозначается T° К. Переход от градусов международной стоградусной шкалы (С) к абсолютной температуре (К) производится по формуле T°К = (t + 273° С).

Например: 6000°К = 5727 + 273° С

Из формулы Планка следует, что для абсолютно черного тела спектральный состав излучения зависит только от температуры тела. Кривые спектральной интенсивности излучения I_λ, вычисленные по формуле Планка для различных температур поверхности абсолютно черного тела, приведены на рис. 45.

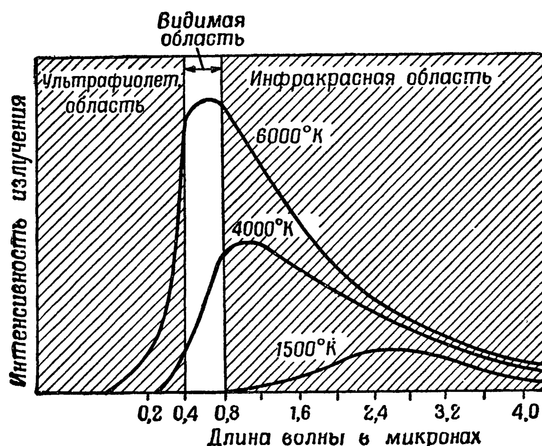


Рис. 45. Графики изменения спектральной интенсивности излучения для различных температур поверхности абсолютно черного тела

Из графиков, приведенных на рисунке, видно, что чем выше температура тела, тем больше интенсивность излучения на каждом участке спектра и, следовательно, тем больше общая энергия излучения. Кроме этого, из графиков следует, что при увеличении температуры наибольшее значение спектральной интенсивности (максимум каждой кривой) смещается в сторону более коротких длин волн. Это явление получило название **закона смещения, или закона Вина.**

3) Согласно закону смещения длина волны λ_m, при которой интенсивность излучения наибольшая, зависит от абсолютной температуры следующим образом:

$$\lambda_m = \frac{2886}{T} \text{ микрон.}$$

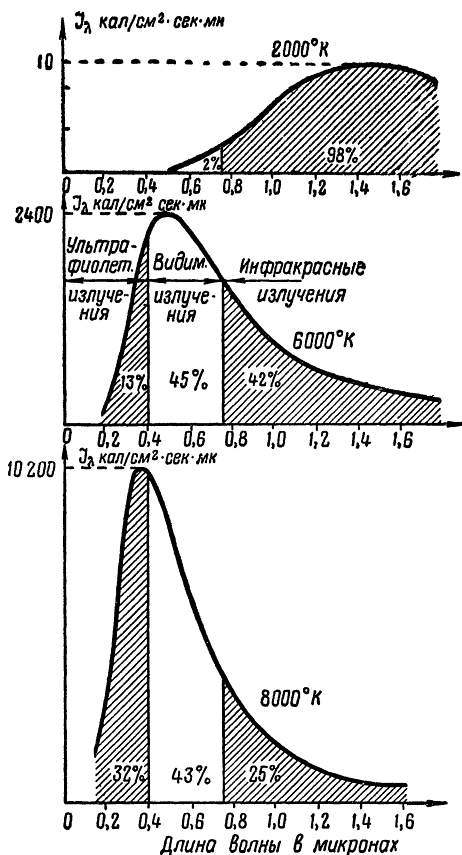


Рис. 49. Распределение энергии по спектру для разных температур поверхности огненного шара

поверхности шара, то по формуле Планка нетрудно определить распределение энергии по спектру.

На рис. 49 показано распределение световой энергии по спектру для температур 2000°, 6000° и 8000° К.

На рисунках по осям отложено: по горизонтальной — длина волны в микронах, по вертикальной — количество световой энергии, излучаемой за секунду одним квадратным сантиметром поверхности (рассчитанной на единицу шкалы для длин волн, то есть на 1 микрон), то есть

спектральная интенсивность излучения I_λ. Площадь, ограниченная горизонтальной осью и кривой, дает количество световой энергии, излучаемой за секунду одним квадратным сантиметром поверхности огненного шара,— интенсивность излучения I_0.

Из приведенных кривых следует вывод: чем больше температура поверхности огненного шара, тем большая доля световой энергии излучается в ультрафиолетовой области. Для примера в табл. 4 приведено соотношение (подсчитанное согласно рис. 49) между энергиями различных частей светового спектра при разных температурах поверхности огненного шара.

Таблица 4

Распределение энергии светового излучения в зависимости от температуры поверхности огненного шара

Температура поверхности, ° К	Ультрафиолетовое излучение	Видимое излучение	Инфракрасное излучение
2000	Нет	2%	98%
4000	2%	28%	70%
6000	13%	45%	42%
8000	32%	43%	25%

Из таблицы видно, что в спектре светового излучения огненного шара при атомном взрыве присутствуют все три части светового спектра. Однако если учесть, что температура поверхности огненного шара, когда испускается в окружающую среду основная доля светового излучения (80—85%), не превосходит 8000° К, то в спектре больше всего содержится видимых и инфракрасных излучений.

Какие же части спектра содержатся в излучении огненного шара в первые моменты после взрыва (первая стадия развития), когда ее температура поверхности измеряется десятками и даже сотнями тысяч градусов? Если для этих температур построить кривые распределения световой энергии по длинам волн, подобно тому как это сделано на рис. 49, то окажется, что основная доля излучения приходится на ультрафиолетовые лучи, причем это будут ультрафиолетовые лучи с такой длиной волны (меньше 0,186 микрона), что они полностью

поглощаются окружающим место взрыва воздухом. Например, уже при температуре поверхности светящейся области, равной 30000° К, доля энергии таких лучей составляет около 70%, остальные 30% будут приходиться на ультрафиолетовую (с длиной волны больше 0,186 микрона) и видимую часть спектра. Начиная с температуры поверхности огненного шара 50 000° К и больше почти все излучение имеет длину волны меньше 0,186 микрона, то есть почти все поглощается воздухом. На остальные части спектра приходится очень малая доля, причем чем выше температура поверхности огненного шара, тем эта доля меньше. Таким образом, на первой стадии развития огненного шара в основном все излучение приходится на ультрафиолетовую часть спектра, поглощаемую воздухом.

По истечении времени больше 1 сек. после взрыва ядерного заряда среднего калибра еще излучается огненным шаром около 15—20% всей световой энергии. Так как температура поверхности огненного шара в это время не превышает 5000° К, то основная доля световой энергии приходится на инфракрасную часть спектра.

Таким образом, на ранней (первой) стадии развития светящейся области в спектре будет преобладать коротковолновая ультрафиолетовая часть световой энергии, однако по величине она не превосходит одного процента всей излучаемой световой энергии. Наоборот, основная доля световой энергии ядерного взрыва излучается на более поздней (второй) стадии развития светящейся области, и в спектре будут преобладать видимая и инфракрасная части. Следует отметить, что в среднем спектр светового излучения атомного взрыва напоминает солнечный спектр.

2. Световые импульсы

Основной характеристикой, определяющей поражающее действие светового излучения ядерного взрыва, является количество световой энергии, падающей на один квадратный сантиметр освещаемой поверхности, перпендикулярной к направлению распространения излучения, за все время свечения огненного шара. Это количество световой энергии называют **световым импульсом.** Величина светового импульса зависит:

а) от количества световой энергии, излучаемой огненным шаром за все время его свечения $E_{изл}$; так как в форме светового излучения выделяется вполне определенная часть (одна треть) всей энергии, выделяющейся при атомном взрыве, то, следовательно, величина светового импульса зависит от калибра атомной бомбы;

б) от расстояния освещаемой поверхности до центра ядерного взрыва;

в) от состояния атмосферы в момент взрыва;

г) от вида взрыва (наземный или воздушный). Световое излучение от светящейся области распространяется прямолинейно. Если вокруг светящейся области воздушного атомного взрыва описать сферу радиуса R, то энергия, излучаемая светящейся областью за все время ее свечения, если отсутствует ослабление энергии в атмосфере, будет полностью проходить через поверхность сферы, равную

$$S = 4\pi R^2 \text{ см}^2.$$

Значит, на 1 см² этой поверхности будет приходиться энергия, равная

$$U = \frac{E_{изл}}{4\pi R^2} \text{ кал/см}^2.$$

Это количество энергии и принято называть световым импульсом.

Световой импульс в этом случае будет выражаться в калориях на квадратный сантиметр.

Как видно из формулы, величина светового импульса при достаточно прозрачной атмосфере обратно пропорциональна квадрату расстояния от центра взрыва. С увеличением расстояния вдвое величина импульса вследствие расширения светового потока уменьшается в четыре раза, а с увеличением втрое — в девять раз.

Если бы атмосфера не ослабляла (при прохождении сквозь нее) светового излучения, то расчет светового импульса на любом расстоянии от центра взрыва был бы крайне прост. Допустим, нужно узнать световой импульс для атомной бомбы с тротиловым эквивалентом 20 тыс. т на расстояниях 1, 2 и 3 км. Для нахождения световых импульсов на этих расстояниях нужно в указанное выражение для светового импульса подставить

вместо энергии ее значение — $7 \cdot 10^{12}$ кал., а вместо квадрата расстояния — последовательно цифры 10^{10}; $4 \cdot 10^{10}$; $9 \cdot 10^{10}$ (квадраты расстояний, выраженные в см.). Тогда для световых импульсов получим значения: на одном километре — 56 кал/см^2, на двух километрах — 14 кал/см^2, на трех километрах — 6,2 кал/см^2. Таковы были бы световые импульсы, если бы не было ослабления световой энергии в атмосфере. Однако практически всегда при прохождении сквозь атмосферу световой энергии происходит ее ослабление в той или иной степени. Рассмотрим этот вопрос подробнее.

3. Ослабление светового излучения при прохождении сквозь атмосферу

Окружающий землю газообразный слой называется атмосферой. Атмосфера — это сложная смесь с почти неизменным составом основных газов (азота, кислорода, аргона, углекислого), но с очень непостоянным количеством различных примесей. К этим примесям относятся: вода (в жидком и твердом состоянии), пыль, дым, сажа, газы от промышленных предприятий. Количество примесей в атмосфере, особенно в слое воздуха, прилегающего к земле, зависит от местности, времени года и суток. Например, туманы больше всего бывают на побережьях морей, океанов, над большими водоемами. Пыли больше всего бывает в пустыне, в сухое время года. Дыма, пыли, сажи много также около промышленных предприятий и т. д.

Благодаря наличию в атмосфере указанных примесей световое излучение при прохождении через нее ослабляется.

Из чего складывается ослабление светового излучения? При прохождении светового излучения сквозь атмосферу оно частично рассеивается и частично поглощается.

Рассеянием называется изменение прямолинейного направления лучей света частицами, находящимися в атмосфере. Такими частицами являются молекулы газов, входящих в состав воздуха, капли тумана, пылинки и т. д.

Рассеяние — очень сложное явление. Световой луч, встречая на своем пути частицу, отражается от нее, по-

падает на другую частицу и отражается второй раз. Дважды отраженный луч попадает на новую частицу и отражается третий раз и т. д.

Рассеяние света очень хорошо знакомо шоферам, когда автомашина попадает с зажженными фарами в туман. За счет рассеяния на капельках воды узкий пучок света от фар теряет свою направленность, становится широким. При достаточно плотном тумане шофер вместо пучка света видит светящийся объем тумана, который ослепляет его.

Рассеяние светового излучения тем больше, чем больше содержится в воздухе пыли, дыма и капель воды.

Наличие рассеяния света накладывает некоторые особенности на защитные сооружения от ядерного взрыва. Например, траншеи должны иметь крытые участки, ибо за счет рассеянной доли светового излучения в открытых траншеях возможны поражения людей. Кроме того, за счет рассеянной доли светового излучения может наблюдаться временное ослепление людей, даже если они смотрят не в направлении взрыва.

Кроме рассеяния, световое излучение при прохождении сквозь атмосферу также поглощается частицами пыли, парами воды, молекулами кислорода, углекислым газом, озоном. Поглощенная световая энергия переходит в теплоту, нагревающую воздух. Известно много полос поглощения в различных частях спектра при прохождении светового излучения сквозь атмосферу. На основании этого можно сделать следующие выводы.

а) Ультрафиолетовое излучение с длиной волны меньше 0,186 микрона полностью поглощается кислородом воздуха (достаточно слоя кислорода толщиной в 1 м).

Следовательно, в спектре светового излучения ядерного взрыва отсутствуют ультрафиолетовые лучи с длиной волны меньше 0,186 микрона.

б) Ультрафиолетовое излучение с длиной волны меньше 0,29 микрона сильно поглощается озоном (трехатомный кислород — O_3). Например, в солнечном спектре у поверхности земли не содержится ультрафиолетового излучения с длиной волны меньше 0,29 микрона, так как оно полностью поглощается озоном высоких слоев атмосферы. Благодаря этому существует особый теплый слой в атмосфере (по некоторым данным, температура в нем

равна около +35°) на высотах 40—55 км, где ультрафиолетовые лучи еще только вступают в слой озона.

Рассмотрим кратко вопрос, в какой степени поглощает озон световое излучение атомного взрыва.

Можно сказать определенно, что за счет атмосферного озона поглощение светового излучения атомного взрыва несущественно. Но при атомном взрыве большое количество озона возникает за счет воздействия на кислород воздуха гамма-лучей, рентгеновских лучей и ультрафиолетовых лучей (в диапазоне длин волн 0,13—0,175 микрона). При воздействии этих лучей на молекулу кислорода она распадается на атомы кислорода, которые, соединяясь в свою очередь с другими молекулами кислорода, образуют озон. Образованный озон под влиянием высоких температур частично разрушается. Он частично расходуется на окисление органических веществ, которые в виде пыли (особенно много поднимается ее при атомном взрыве) всегда присутствуют в атмосфере, а частично разрушается при столкновении с атомами кислорода. Значительная часть озона идет на поглощение ультрафиолетового излучения с длиной волны меньше 0 29 микрона. Наблюдаются также полосы поглощения за счет озона в инфракрасной части спектра. Однако окончательных данных о поглощении ультрафиолетового излучения атомного взрыва озоном еще нет. В литературе (иностранной) имеются лишь отрывочные сведения [1], согласно которым при замерах на расстояниях, превышающих 9—16 км от центра атомного взрыва, уже совершенно не наблюдаются излучения с длиной волны меньше 0,3 микрона. Это же подтверждается опытами (описанными в иностранной литературе) с животными, подвергшимися при ядерном взрыве облучению через фильтры, пропускающие только ультрафиолетовую часть спектра. Ожогов за счет ультрафиолетовой части спектра не было. Этими же опытами было установлено, что ожоги, полученные через фильтры, которые пропускают только видимую или только инфракрасную часть, не различались по интенсивности (при прочих одинаковых условиях), хотя в некоторых случаях ожоги, вызванные действием видимого света, были сильнее. Зна-

---

1 «The Effects of Atomic Weapons», New York — London, 1950.

чит, при атомном взрыве поражение световым излучением будет происходить в основном за счет видимых и инфракрасных лучей.

в) Имеется много полос поглощения в инфракрасной области спектра, которые получаются в основном за счет паров воды и углекислого газа.

Для учета ослабления светового излучения при прохождении сквозь атмосферу в формулу для подсчета светового импульса вводится поправочный множитель $e^{-\kappa(R-r)}$, учитывающий ослабление излучения на пути $(R-r)$. Здесь R — расстояние от центра светящейся области до места, где измеряется излучение, и r — радиус светящейся области. Если R и r выразить в километрах, то окончательно для подсчета величины светового импульса на расстоянии R от центра взрыва с учетом ослабления светового излучения атмосферой имеем формулу:[1]

$$U = \frac{E_{изл}}{4\pi \cdot 10^{10} \cdot R^2} e^{-\kappa(R-r)} \text{ кал/см}^2,$$

где $E_{изл}$ — полная энергия светового излучения в калориях;
R — расстояние от центра взрыва в километрах;
r — средний радиус светящейся области в километрах;
κ — средний коэффициент ослабления излучения для всего диапазона длин волн, имеющий размерность $\frac{1}{км}$;
e — основание натуральных логарифмов, равное примерно 2,72;
$\pi = 3{,}14$.

Для практических целей эту формулу можно упростить. Учитывая, что на световое излучение идет одна треть энергии взрыва, формула для расчета светового импульса будет иметь вид:

$$U = \frac{2{,}65 \cdot 10^{-3} \cdot q}{R^2} e^{-\kappa(R-r)} \text{ кал/см}^2,$$

где q — тротиловый эквивалент взрыва в тоннах;
R — расстояние от центра взрыва в километрах.

[1] «The Effects of Atomic Weapons», New York—London, 1950.

Остальные обозначения те же, что и раньше.

Коэффициент ослабления светового излучения атмосферой более или менее изучен для узкого пучка лучей (когда ушедшие из пучка лучи за счет рассеяния обратно в него не возвращаются). Однако при атомном взрыве световое излучение испускается во все стороны (воздушный взрыв) от светящейся области, то есть в телесном угле, равном 4π, охватывающем множество узких пучков световых лучей. В этом случае рассеянная доля излучения одного пучка света пополняется рассеянной долей другого пучка.

Если бы атомный взрыв происходил в однородной среде (среда одинаковой плотности), то через сферу произвольного радиуса, описанную относительно центра взрыва, из общего количества фотонов, испущенных светящейся областью, пройдут все, за исключением части фотонов, поглощенных средой. Тогда ослабление светового излучения будет определяться только его поглощением.

В действительности место взрыва не будет окружено однородной атмосферой; как правило, концентрация рассеивающих центров над местом взрыва уменьшается с увеличением высоты. Кроме того, атмосфера ограничена снизу поверхностью земли. Нас интересует больше ослабление лучистой энергии в горизонтальном направлении. Уменьшение концентрации центров рассеяния с высотой дает возможность сделать вывод, что в вертикальном направлении атмосфера более прозрачна, чем в горизонтальном. Световой поток, распространяющийся в горизонтальном направлении, проходит через более плотную среду, чем в вертикальном, и, следовательно, теряет за счет рассеяния больше, чем приобретает. Кроме того, большая часть лучистой энергии, падающей на землю, поглощается. Таким образом, рассеяние ведет также к ослаблению светового потока. Следовательно, световое излучение, распространяющееся от светящейся области в горизонтальном направлении, уменьшается за счет рассеяния вверх и поглощения землей.

Такова кратко качественная картина процесса ослабления светового излучения атомного взрыва при прохождении сквозь атмосферу.

Количественно оценить ослабление светового излучения при прохождении сквозь атмосферу при различных

ее состояниях ввиду чрезвычайной сложности вопроса довольно трудно. Ориентировочная оценка коэффициента ослабления светового излучения ядерного взрыва $к$ для различных состояний атмосферы, согласно иностранной печати, может быть произведена на основании графика, приведенного на рис. 50. Состояние атмосферы обычно характеризуют метеорологической дальностью видимости, под которой понимают то предельное расстояние, на котором в дневное время на фоне неба у горизонта можно различить очертания больших темных предметов, к которым относятся, например, хвойные деревья, покрытые черноземом склоны холмов, постройки, паровозы и пр.

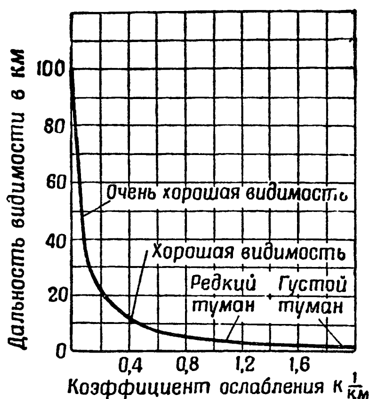


Рис. 50. Зависимость коэффициента ослабления от дальности видимости

Из графика нетрудно видеть, что коэффициент ослабления изменяется от нуля при исключительно чистой атмосфере до $к = 2\frac{1}{\text{км}}$ при густом тумане.

Для города дальность видимости в среднем равна примерно 10 км, тогда $к = 0{,}4\frac{1}{\text{км}}$. Насколько данные рис. 50 близки к действительности, ответить пока что затруднительно. Для этого необходимы дополнительные исследования.

В ясную погоду поглощением светового излучения в атмосфере практически можно пренебречь. Поэтому в случае необходимости получить наибольший радиус поражения за счет действия светового излучения противник будет стремиться применить атомное оружие в условиях хорошей видимости. Это нужно учитывать при организации защиты от ядерного оружия.

С целью защиты можно ослабить световое излучение маскирующими дымами. Постановка дымовых завес имеет основной задачей маскировку расположения и действий своих войск и военных объектов и ослепление

огневых точек, наблюдательных пунктов и боевых порядков противника. Как известно, маскирующие дымовые завесы представляют собой плотные туманы, образующиеся в атмосфере в результате применения так называемых дымообразующих веществ. В условиях атомного взрыва маскирующие дымы так же, как и естественные туманы, будут ослаблять световое излучение. В известных пределах коэффициент ослабления света прямо пропорционален весовой концентрации дыма, измеряемой в мг/л или в г/м³.

Доля энергии поглощенного света в общей потере световой энергии в силу рассеяния и поглощения зависит от размеров дымовых частиц, длины волны света и коэффициентов преломления частиц.

Для неокрашенных дымов на долю поглощения приходится от 10 до 30% общей потери световой энергии в силу рассеяния и поглощения, а в черных дымах на долю поглощения приходится до 80%. Из этого можно заключить, что в условиях постановки дымовой завесы поражающее действие светового излучения может быть в известной степени ослаблено.

В иностранной печати отмечается, что плотная дымовая завеса между точкой взрыва и целью может уменьшить световой импульс в десять раз по сравнению с тем импульсом, который был бы получен, если бы не было завесы. Таким образом, дымовые завесы, видимо, могут ослабить действие светового излучения ядерного взрыва.

Световые импульсы с учетом ослабления светового излучения атмосферой. На основе изложенного выше можно оценить значения световых импульсов на различных расстояниях от центра ядерного взрыва при разных состояниях атмосферы.

Для воздушного взрыва (высота взрыва $H = 600$ м) ядерного заряда, эквивалентного 20 тыс. т тротила, значения световых импульсов, рассчитанные по формуле, приведенной в предыдущем параграфе, показаны на рис. 51. На этом рисунке по горизонтальной оси отложены расстояния от эпицентра[1] ядерного взрыва в кило-

[1] Для воздушного взрыва световые импульсы на различных расстояниях от эпицентра взрыва могут быть определены по той же формуле, если вместо R подставить $\sqrt{R_э^2 + H^2}$, где $R_э$ — расстояние от эпицентра взрыва, H — высота взрыва.

метрах, по вертикальной оси — значения световых импульсов в кал/см².

Каждая кривая рассчитана для определенного коэффициента ослабления *к*.

Из рассмотрения кривых рис. 51 следует, что чем больше *к*, тем меньше для одного и того же расстояния

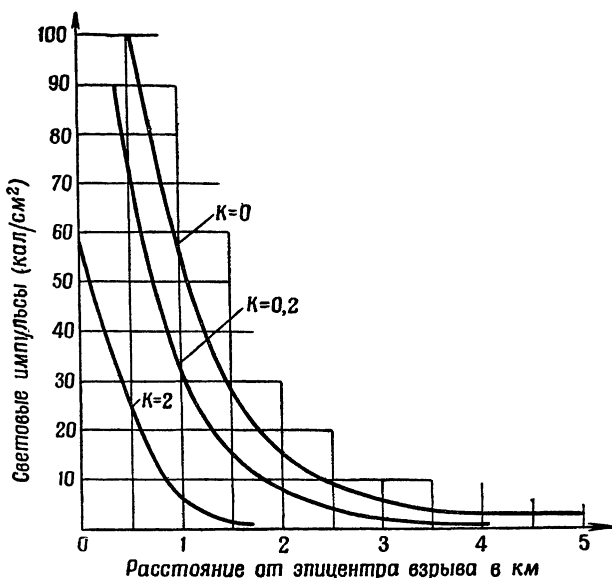


Рис. 51. Изменение световых импульсов с расстоянием от эпицентра взрыва для различных значений коэффициента ослабления светового излучения при взрыве атомной бомбы, эквивалентной 20 тыс. т тротила

величина светового импульса. Например, на расстоянии 1,5 км от эпицентра ядерного взрыва для случая, когда ослабление световой энергии в атмосфере полностью отсутствует, световой импульс равен 30 кал/см². Для того же самого расстояния, когда коэффициент ослабления равен $\kappa = 0{,}2\ \frac{1}{\text{км}}$, световой импульс равен 15 кал/см², а при коэффициенте ослабления $\kappa = 2\frac{1}{\text{км}}$ световой импульс равен только 1 кал/см².

Нетрудно видеть, что световое излучение ядерного

взрыва как поражающий фактор зависит от состояния атмосферы в момент атомного взрыва. При определенном ее состоянии (густой туман, дождь, снегопад) поражения за счет светового излучения будут иметь место на меньших расстояниях, чем в хорошую погоду. Это является особенностью светового излучения как поражающего фактора по сравнению с другими поражающими факторами (ударной волной, проникающей радиацией и радиоактивным заражением местности) атомного взрыва. Наоборот, радиоактивное заражение местности при воздушном взрыве в условиях тумана, дождя и снегопада может быть значительно увеличено. Но нельзя также забывать о том, что в условиях очень хорошей погоды на открытой местности при воздушном взрыве ядерной бомбы, эквивалентной 20 тыс. т тротила, действие ударной волны и проникающей радиации на людей сказывается на расстояниях до 2000 м от эпицентра взрыва. Под действием же светового излучения могут быть ожоги открытых частей тела на расстояниях до 4000 м.

В заключение этого раздела следует сказать несколько слов о **форме светового импульса.** Формой светового импульса называют зависимость (в частности, выраженную в виде графика) между интенсивностью освещения и временем. Выше были приведены величины световых импульсов, то есть количество энергии, падающее на 1 см^2 поверхности тела (перпендикулярной падающим лучам) за все время свечения огненного шара. На практике иногда важно знать интенсивность поступления энергии на каком-либо расстоянии от центра взрыва (интенсивность освещения). Это нетрудно рассчитать на основании кривой, приведенной на рис. 47, и формулы для определения величины светового импульса. Зависимость интенсивности освещения от времени на расстоянии двух километров от центра ядерного взрыва (форма импульса) для двух состояний атмосферы приведена на рис. 52. Очевидно, площадь, ограниченная каждой кривой и горизонтальной осью, дает величину светового импульса на данном расстоянии от центра взрыва при данном состоянии атмосферы.

Зависимость светового импульса от калибра ядерного заряда. Величины световых импульсов, приведенные выше, относились к ядерным зарядам, эквивалентным

20 тыс. т тротила. По формуле легко также подсчитать значения световых импульсов на различных расстояниях от центра или эпицентра ядерного взрыва для любого другого значения тротилового эквивалента при любом состоянии атмосферы. Для примера в таблице 5 приведены значения световых импульсов (рассчитанные по приведенной выше формуле) на разных расстояниях от

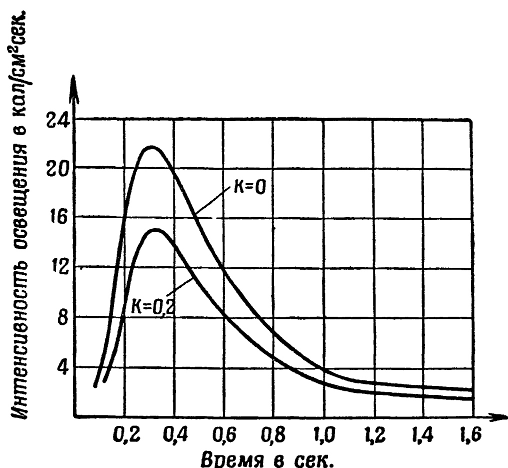


Рис. 52. Форма светового импульса на расстоянии 2 км от центра взрыва для двух состояний атмосферы характеризуемых коэффициентами ослабления $\kappa = 0$ (ослабление отсутствует) и $\kappa = 0{,}2\ \frac{1}{\text{км}}$ (дальность видимости 20 км))

центра воздушного взрыва для двух калибров атомных бомб, с тротиловым эквивалентом 20 тыс. и 100 тыс. тонн. Импульсы рассчитаны для трех состояний атмосферы, определяемых коэффициентами ослабления $\kappa = 0$, $\kappa = 0{,}08$ и $\kappa = 0{,}2\frac{1}{\text{км}}$.

Как следует из формулы для светового импульса, если известна величина светового импульса U_1 на каком-либо расстоянии для заряда с тротиловым эквивалентом q_1, то можно найти для этого же расстояния величину

светового импульса U_2 для ядерного заряда с тротиловым эквивалентом q_2. В случае, когда ослаблением светового излучения в атмосфере можно пренебречь, формула для определения импульса U_2 будет иметь вид

$$U_2 = U_1 \frac{q_2}{q_1}.$$

Таблица 5

Значения световых импульсов на разных расстояниях от центра воздушного ядерного взрыва

Расстояние от центра взрыва, км	Ядерный заряд, эквивалентный 20 тыс. т тротила			Ядерный заряд, эквивалентный 100 тыс. т тротила		
	$\kappa = 0$	$\kappa = 0{,}08$	$\kappa = 0{,}2$	$\kappa = 0$	$\kappa = 0{,}08$	$\kappa = 0{,}2$
1	55,0	53,0	47,0	280,0	260,0	240,0
2	14,0	12,0	9,6	70,0	61,0	49,0
3	6,2	4,8	3,5	31,0	25,0	18,0
4	3,5	2,6	1,6	17,2	13,0	8,3
5	2,2	1,5	—	11,0	7,6	4,3
6	—	—	—	7,7	4,9	2,5
7	—	—	—	5,7	3,3	1,5
8	—	—	—	4,3	2,4	—
9	—	—	—	3,1	—	—
10	—	—	—	2,8	—	—
11	—	—	—	2,3	—	—
12	—	—	—	1,9	—	—

Покажем применение этой формулы на примере. На расстоянии 2 км от центра взрыва световой импульс для заряда с тротиловым эквивалентом $q_1 = 20$ тыс. т будет равен $U_1 = 14$ кал/см^2. На том же расстоянии при взрыве заряда с тротиловым эквивалентом $q_2 = 100$ тыс. т световой импульс на основании формулы имеет значение

$$U_2 = 14 \frac{100\,000}{20\,000} = 70 \text{ кал/см}^2.$$

Величина светового импульса при наличии облаков. Выше было установлено, что в условиях тумана, дождя, снегопада и т. п. световые импульсы могут быть меньше, чем при хорошей погоде, за счет ослабления светового

излучения. Совершенно другое положение может быть при взрыве атомной бомбы при наличии облаков. Представим себе плотные облака на небольшой высоте над землей и атомный взрыв между поверхностью земли и облаками. В этом случае световые импульсы, полученные объектами, расположенными на различных расстояниях от эпицентра взрыва, будут больше по сравнению со световыми импульсами, полученными при безоблачной погоде. Это происходит потому, что световое излучение, испускаемое огненным шаром вверх, частично отражается от облаков и возвращается на землю (рис. 53).

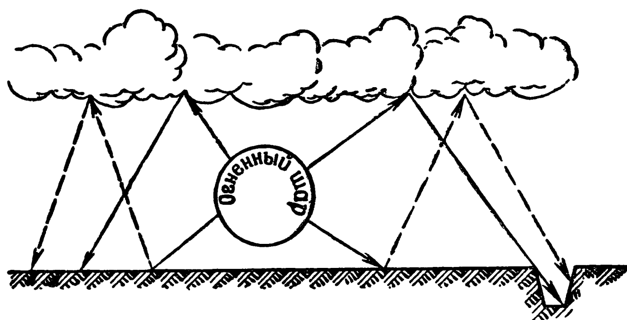


Рис. 53. Схема отражения светового излучения от облаков

Увеличению светового импульса, кроме того, способствует световое излучение, испускаемое огненным шаром в направлении земли. Падая на землю, световое излучение частично отражается, идет к облакам, отражается ими и снова возвращается к земле. Для данного расстояния от эпицентра взрыва степень увеличения светового импульса при наличии облаков зависит от многих причин: от высоты облаков над поверхностью земли, толщины облаков, отражательной способности земного покрова и т. д.

Толщина облака определяет его способность отражать световое излучение, причем чем толще облако, тем больше отражается падающей на него световой энергии.

Приближенная зависимость отражения светового излучения от толщины облака, выраженная в процентах,

показана на рис. 54. Из кривой, дающей примерную зависимость отражения световой энергии от толщины облака, видно, что уже при толщине облака, равной 700—800 м, отразится примерно 75—80% падающего на него светового излучения. Средний коэффициент отражения облаков, рассчитанный с учетом распространенности облаков различных форм и различной толщины (мощности), составляет около 50—55%. Наличие облаков при

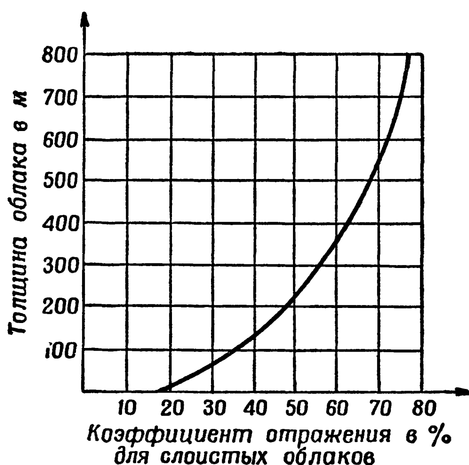


Рис. 54. Зависимость коэффициента отражения светового излучения от толщины облаков

атомном взрыве, таким образом, предъявляет дополнительные требования к защитным сооружениям.

В самом деле, световым излучением ядерного взрыва, отраженным от облаков, люди могут получить ожоги, находясь в окопе открытого типа (что нетрудно видеть из рис. 53), несмотря на то что они будут защищены от прямых световых лучей. Некоторые расчеты дают возможность сделать заключение, что в условиях, когда облака и земной покров (например, снег) отражают около 75—80% падающей на них световой энергии, величина светового импульса на некоторых расстояниях от эпицентра взрыва (отношение высоты облаков над поверхностью земли к расстоянию от эпицентра взрыва составляет $0,5 \div 1,0$) за счет только отраженной доли свето-

вого излучения от облаков и земли может доходить до половины величины светового импульса, созданного прямыми лучами света, идущими непосредственно от огненного шара.

Это обстоятельство необходимо учитывать при организации противоатомной защиты.

Учитывая сказанное, сооружения для защиты от светового излучения ядерного взрыва так же, как и от ударной волны, проникающей радиации и заражения радиоактивными веществами, необходимо делать с верхним перекрытием.

4. Поражающее действие светового излучения ядерного взрыва

Световая энергия U (световой импульс), падающая на тело при излучении огненного шара, частично отражается поверхностью тела, частично поглощается им и частично проходит через него, если тело прозрачно. Схематически распределение падающей на тело световой энергии показано на рис. 55. На рисунке обозначено: жирной стрелкой— падающая на тело световая энергия U, волнистой линией с цифрой 1 — поглощенная энергия U_1, цифрой 2 — отраженная часть световой энергии U_2, цифрой 3 — прошедшая сквозь тело энергия U_3. Согласно сказанному, легко написать равенство $U = U_1 + U_2 + U_3$. В окружающей нас обстановке большинство тел почти совсем непрозрачны ($U_3 = 0$ за исключением стекол), поэтому можно сказать, что одна часть падающей на тело световой энергии отражается от него, а другая часть поглощается им, то есть $U = U_1 + U_2$. Нас должна интересовать та часть световой энергии, падающей на тело, которая поглощается телом, U_1. Тело, поглощая энергию, нагревается до той или иной температуры. А в зависимости от того, до какой темпе-

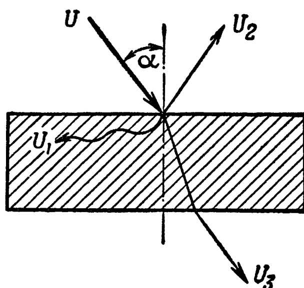


Рис. 55. Схема распределения падающей на тело световой энергии (светового импульса):

U_1 — поглощенной телом; U_2 — отраженной; U_3 — прошедшей сквозь тело

ратуры оно нагревается, осуществляется та или иная степень его поражения — обугливание, воспламенение, оплавление материалов или ожоги частей тела человека. Рассмотрим вначале, какая часть падающей световой энергии поглощается телом.

Поглощение световой энергии различными телами. При одной и той же падающей световой энергии (одном и том же световом импульсе) различные тела поглощают различные количества этой энергии. Например, тело с темной поверхностью поглощает значительно больше световой энергии, чем с белой. В жизни это свойство тел используется широко: белые летние костюмы, белая краска для вагонов-ледников, цистерн и других сооружений применяется, когда нагревание тел под действием светового излучения солнца нежелательно. Для характеристики поглощательной и отражательной способностей тел обычно пользуются коэффициентами поглощения и отражения, которые обозначаются соответственно через κ_1 и κ_2.

Коэффициент поглощения $\kappa_1 = \frac{U_1}{U}$ численно равен отношению световой энергии, поглощенной телом, к световой энергии, падающей на него. Коэффициент поглощения — это число, показывающее, какую часть светового импульса поглощает данное тело.

Коэффициент отражения $\kappa_2 = \frac{U_2}{U}$ численно равен отношению световой энергии, отраженной телом, к световой энергии, падающей на него. Коэффициент отражения — это число, показывающее, какую часть светового импульса отражает данное тело. Коэффициент поглощения и отражения, как видно из определения, всегда меньше единицы. Но сумма их для непрозрачного тела, согласно закону сохранения энергии, равна единице: $\kappa_1 + \kappa_2 = 1$. Это значит, что если известен один из них для данного тела, то другой находится вычитанием известного из единицы. Например, белая бумага имеет коэффициент отражения $\kappa_2 = 0{,}80$, коэффициент поглощения будет равен $\kappa_1 = 1 - 0{,}80 = 0{,}20$. Часто коэффициенты поглощения и отражения выражают в процентах. Следовательно, белая бумага поглощает 20% световой энергии, падающей на нее. Коэффициент поглощения зависит от цвета тела, а также в значительной степени и

от состояния поверхности этого тела. Например, шероховатая поверхность поглощает больше световой энергии, чем гладкая или полированная, влажная поверхность также поглощает больше, чем сухая, и т. д. Но не только от состояния поверхности тела зависит коэффициент поглощения. Он зависит и от длины волны падающего на тело излучения.

На рис. 56 показано примерное изменение коэффициента поглощения кожи человека от длины волны падающего светового излучения. На рисунке показана эта зависимость для некоторого среднего случая. По горизонтальной оси на рисунке отложена длина волны света в микронах, а по вертикальной оси — коэффициент поглощения. За многие тысячелетия существования человека его кожа хорошо приспособилась к падающим на нее солнечным лучам. Коротковолновые ультрафиолетовые лучи достигают поверхности земли в очень малом количестве, зато кожа их почти полностью поглощает, отражая только около 3% энергии этих лучей. На рис. 56 можно видеть, что в видимой области (длина волны 0,4—0,8 микрона), где излучается очень много солнечной энергии, поглощение кожи, напротив, мало: 65% этой энергии поглощается, а 35% отражается. Этим самым ослабляется могущее быть излишним действие излучения на кожу. С увеличением длины волны в инфракрасной области спектра солнечная энергия уменьшается, а коэффициент поглощения кожи увеличивается.

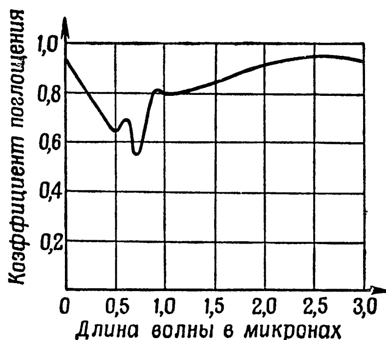


Рис. 56. Изменение по спектру коэффициента поглощения кожи человека от длины волны светового излучения.

Кожа человека по-разному пропускает волны различной длины. Так, ультрафиолетовая часть спектра поглощается полностью слоем кожи толщиной в несколько сотых долей миллиметра; с увеличением длины волны увеличивается и прозрачность кожи, достигая наибольшей степени при длине волны инфракрасных лучей

0,8 микрона. Для более длинных инфракрасных лучей прозрачность кожи опять уменьшается.

Для пахотной земли и зеленой листвы зависимость коэффициента отражения (поглощения) от длины волны показана на рис. 57.

Ввиду сложной зависимости коэффициента поглощения от длины волны пользуются обычно средними коэффициентами поглощения для всех трех участков свето-

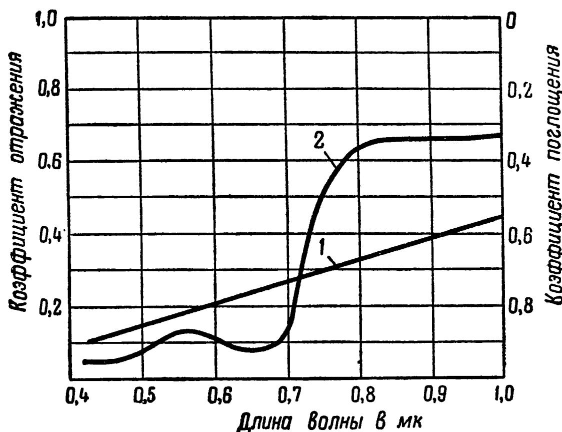


Рис. 57. Зависимость коэффициента отражения (поглощения) от длины волны света для:
1 — пахотной земли; 2 — зеленой листвы

вого спектра (ультрафиолетового, видимого и инфракрасного). Средний коэффициент поглощения нетрудно подсчитать для каждого материала, если имеется кривая, подобная кривой, показанной на рис. 56 и 57. Но вопрос осложняется тем, что интенсивность излучения для разной длины волны, согласно закону Планка, разная. Поэтому для каждого материала средняя по спектру величина коэффициента отражения (поглощения) зависит от спектрального состава падающего излучения, который определяется температурой источника света.

Как уже отмечалось, средний спектр излучения светящейся области близок к спектру солнечного излучения. Поэтому на практике при оценке поглощательной способности светового излучения различными телами поль-

зуются коэффициентами отражения (поглощения), полученными для солнечного излучения.

Исходя из этого, для кожи человека средний коэффициент поглощения будет равен 0,65, то есть кожа поглощает около 65% падающего на нее светового излучения (светового импульса).

Разные материалы в среднем поглощают следующее количество падающего на них светового излучения: краска белая — 18%; краска черная — 96%; черепица красная и коричневая — 70%; материал цвета хаки — 60%; материя белая — 25%; черное сукно — 99%; бумага белая — 20%; сухая трава, высохшая на солнце, хлопок — 80% и т. д.

Чем больше коэффициент поглощения поверхности тела, тем больше это тело поглощает световой энергии, тем до большей температуры оно нагревается. Количество светового излучения, которое поглощается одним сантиметром поверхности освещаемого тела, называется **тепловым импульсом** и находится по формуле

$$U_т = U \cdot к_1 \cdot \cos \alpha,$$

где $U_т$ — тепловой импульс в кал/см^2;
U — световой импульс в кал/см^2;
$к_1$ — коэффициент поглощения;
α — угол между направлением распространения света и перпендикуляром к освещаемой поверхности.

Таким образом, при одном и том же световом импульсе каждое тело поглощает разное количество световой энергии, которая определяет степень его поражения.

Зависит ли степень поражения только от величины поглощенной энергии? Оказывается, что та или иная степень поражения — воспламенение, обугливание, оплавление материалов или ожоги тела человека — зависит в сильной степени и от других качеств тела: его теплопроводности, теплоемкости и размеров (толщины).

Но только ли от них? Большое значение имеют и другие факторы.

При ядерном взрыве существенное влияние на степень поражения тел оказывает не только количество световой энергии, но и то, что эта энергия выделяется в сравнительно короткий промежуток времени, исчисляемый секундами. Поглощение светового излучения телами

происходит, очевидно, в течение этого же времени. Благодаря быстрому подводу большого количества тепла к поверхности тела только незначительная часть этого тепла успевает отводиться от поверхностного слоя внутрь тела в результате теплопроводности и наружу, в воздух, вследствие излучения и теплопередачи. Температура поверхности тела очень сильно повышается. В зависимости от того, до какой температуры нагревается поверхность тела, находится и степень его поражения. Если бы испускание (поглощение) того же количества светового излучения происходило в течение более продолжительного времени, то температура поверхности была бы значительно ниже, так как вследствие теплопроводности большая часть энергии отвелась бы от поверхности в глубь тела, а другая часть излучилась бы в окружающую среду или была бы непосредственно передана воздуху. Следовательно, поражение тела было бы меньше или совсем отсутствовало, хотя общее количество поглощенной световой энергии осталось бы тем же. Это наглядно можно показать на таком примере.

За один день на каждый квадратный сантиметр горизонтальной поверхности падает в среднем следующее количество светового излучения солнца для разных пунктов Советского Союза: Иркутск — 165 калорий, Тбилиси — 206 и Ташкент — 278 калорий.

Если бы такое количество световой энергии падало на квадратный сантиметр поверхности при атомном взрыве (за 3 сек.), то многие вещества воспламенились, некоторые металлы оплавились, а открытые части тела человека обуглились. Однако этого не бывает с телами от излучения солнца, потому что нагревание происходит в течение длительного времени. Из этого можно сделать заключение, что при одной и той же величине светового импульса у двух атомных бомб степень поражения будет сравнительно меньше у той атомной бомбы, время свечения огненного шара которой больше. Опыт показывает, что чем меньше интенсивность освещения поверхности тела, тем большее нужно время освещения, то есть световой импульс для нанесения одной и той же степени поражения. Например[1], при интенсивности освещения

---

[1] Д. И. Лоусон. Атомная бомба и пожары. Перевод с английского. Издательство иностранной литературы, 1955.

0,8 кал/см²сек. воспламенение хлопчатобумажной ткани происходит через семь секунд; при интенсивности освещения 1,0 кал/см²сек. воспламенение ткани происходит через пять секунд, а при интенсивности освещения 1,3 кал/см²сек. воспламенение той же ткани происходит уже через три секунды. Значит, для хлопчатобумажной ткани в первом случае световой импульс равен 5,6 кал/см², во втором — 5 кал/см², а в третьем — 3,9 кал/см². Так как при взрыве водородной бомбы свечение огненного шара продолжается большее время, чем при взрыве атомной бомбы, то для одного и того же светового импульса интенсивность освещения при взрыве водородной бомбы будет меньше. Следовательчо, одна и та же степень поражения при взрыве водородной бомбы будет получаться при большем световом импульсе, чем при взрыве атомной бомбы.

Приведем теперь формулы для определения температуры тела при действии светового излучения ядерного взрыва.

Для тонких металлических листов (крыши домов, обшивка самолетов) прогрев можно считать на всю глубину одинаковым. При действии светового излучения повышение температуры листа (по сравнению с начальной) будет определяться по известной из курса физики формуле:

$$\Delta T = \frac{U_т}{\gamma c \delta}\ ^\circ C.$$

Здесь: $U_т$ — тепловой импульс в кал/см²;
γ — удельный вес материала в г/см³;
c — теплоемкость материала в кал/г град;
δ — толщина листа в см.

В приведенной формуле произведение $\gamma \cdot c = c_v$ есть объемная теплоемкость, измеряемая в $\frac{\text{кал}}{\text{см}^3\ \text{град}}$.

Для толстых материалов (броня танков, кораблей и другие предметы вооружения) за сравнительно короткое время освещения материал не успевает прогреться на всю глубину одинаково. Наибольшую температуру будет иметь освещаемая поверхность. Повышение температуры наружной поверхности к концу действия

светового излучения будет в этом случае происходить по закону [1],

$$\Delta T = \frac{AU_т}{\sqrt{t_{осв}}}.$$

Здесь: A — коэффициент пропорциональности;

$t_{осв}$ — время воздействия светового излучения.

Между прочим, из последней формулы легко получить приближенную зависимость величины светового импульса, необходимого для нанесения той или иной степени поражения данному материалу, в зависимости от калибра ядерной бомбы. Как видно из формулы, для одной и той же температуры поверхности (при которой происходит поражение материала) величина импульса прямо пропорциональна корню квадратному из времени освещения $t_{осв}$ (время действия светового излучения). Как уже отмечалось, время действия светового излучения приблизительно прямо пропорционально корню кубическому из калибра бомбы q. Тогда величина светового импульса U_2, необходимая для нанесения одной и той же степени поражения материала от бомбы калибра q_2, будет определяться из выражения

$$U_2 = U_1 \sqrt[6]{\frac{q_2}{q_1}},$$

где U_1 — известная величина светового импульса, необходимая для нанесения той же степени поражения от бомбы калибра q_1.

По данным иностранной печати [2] (полученным при испытаниях), приблизительные величины световых импульсов, необходимых для нанесения одной и той же степени поражения различным материалам для двух калибров ядерных бомб — 20 тыс. и 1 млн. т,— приведены в табл. 6.

Здесь же, в последнем столбце таблицы, в скобках приведены значения световых импульсов, рассчитанные по выше приведенной формуле. Как видим, световые импульсы, полученные на практике и рассчитанные по фор-

1 «Nature» за 1949 г.

2 «The Effects of Nuclear Weapons», Washington, 1957.

Таблица 6

Значения световых импульсов, вызывающих поражения различных материалов

Материал	Световой импульс, кал/см²	
	20 тыс. т	1 млн. т
Драпировка (темно-красного цвета) . .	9	16(17,3)
Хлопчатобумажная ткань для штор (белая)	16	30(30,7)
Газетный лист	3	6(5,8)
Сосновая стружка (светло-желтая) . .	5	12(9,6)
Сухое гнилое дерево	4	9(7,7)
Опадающие листья (сухие)	6	12(11,5)
Тонкая трава (сухая)	5	10(9,6)

муле, близки друг к другу. Выше рассматривалось влияние теплоемкости, теплопроводности, толщины тела и времени освещения на степень поражения тела.

На степень поражения будут влиять и другие факторы, например влажность материалов, обработка их поверхности: окраска, лакировка и т. д. Вообще говоря, очень трудно точно определить условия, при которых возможно воспламенение или обугливание материалов. То же самое можно сказать и об ожогах кожи. Считается, что при быстром подводе тепла (при атомном взрыве), происходящем в результате поглощения светового излучения большой интенсивности, определяющим для поражения является общее количество световой энергии, падающее на единицу освещаемой поверхности, то есть световой импульс. Световые импульсы, необходимые для нанесения той или иной степени поражения, для большинства материалов определены экспериментально. Они частично были указаны выше и будут приведены еще в следующих параграфах.

В большинстве случаев справедливыми остаются следующие общие выводы. Темные ткани поглощают излучение в большей степени, чем светлые. Однако и здесь имеются отличия в зависимости от метода окраски и характера волокна. Шерсть более стойка к действию светового излучения, чем хлопок или искусственное волокно.

Для нанесения поражения легким материалам нужно меньше световой энергии, чем тяжелым. Необходимая энергия (при одинаковом времени воздействия излучения) приблизительно пропорциональна весу ткани на единицу площади. Для поражения влажных материалов нужен световой импульс больше, чем для сухих.

Для нанесения одной и той же степени поражения материалу при взрыве ядерного заряда большего калибра требуется больший световой импульс, чем в случае меньшего калибра.

Ожоги под действием светового излучения. Действие светового излучения на людей при ядерном взрыве выражается в появлении ожогов различных степеней. Различают на практике два типа ожогов: ожоги непосредственно под действием светового излучения и ожоги пламенем, возникшим при возгорании различных материалов под действием светового излучения. Ожоги пламенем характерны для городов и населенных пунктов. Это ожоги от возникших там пожаров, а также от воспламенившейся одежды. На открытой местности (на поле боя) наибольшее количество ожогов, по-видимому, будет от непосредственного действия светового излучения атомного взрыва. Не исключаются, конечно, ожоги от воспламенившейся одежды и различных материалов. Кроме того, возможны ожоги запыленным воздухом, сильно разогретым световым излучением взрыва и приведенным в движение ударной волной.

По иностранным данным [1], примерно 50% всех смертельных случаев, происшедших в результате атомных бомбардировок японских городов Хиросима и Нагасаки, было вызвано различного рода ожогами, причем из этого числа 20—30% случаев было вызвано ожогами непосредственно световым излучением, а остальные — ожогами пламенем от возникших пожаров.

Три четверти всех пострадавших от атомных взрывов получили ожоги. В Хиросиме, например, сообщалось о 40 тыс. относительно серьезных случаев ожогов. Не считая других возможных ранений, световые ожоги должны были быть смертельными почти для всех лиц, находившихся на открытом месте, без существенной защиты, на расстоянии до 1800 м или более от эпицентра взрыва.

[1] «The Effects of Atomic Weapons», New York—London, 1950.

Даже на расстоянии от 3500 м до 4200 м наблюдались случаи световых ожогов, которые были достаточно серьезными и требовали лечения.

Больше всего ожогов световым излучением было у лиц, находившихся на открытом месте. Тем не менее было много ожогов и среди лиц, находившихся в помещениях, так как большинство окон было открыто в связи с летней погодой.

Большое количество ожогов явилось следствием внезапности атомного нападения, отсутствия организованной противоатомной защиты в этих городах, наличия значительного количества деревянных, непрочных зданий, а также отсутствия организованной борьбы с возникшими при взрывах пожарами.

Высокий процент ожогов от светового излучения в Японии, несомненно, был связан также с теплой ясной летней погодой, стоявшей во время взрыва. В холодную погоду люди носили бы плотную одежду, поэтому ожогов было бы значительно меньше.

Так как ожоги пламенем не являются характерными для войск на поле боя, то мы здесь их рассматривать не будем.

Рассмотрим более подробно ожоги непосредственно под действием светового излучения атомного взрыва. По внешнему виду ожоги от действия светового излучения атомного взрыва не отличаются от обычных ожогов пламенем. Световое излучение в первую очередь воздействует на открытые части тела: кисти рук, лицо, шею, а также глаза.

Различают ожоги **первой, второй** и **третьей степени.** Степень ожогов зависит от величины светового импульса, то есть от удаления людей от места, и вида атомного взрыва, продолжительности воздействия светового излучения, положения человека по отношению к взрыву и качества одежды.

Ожог первой степени вызывается световым импульсом, равным примерно 2—4 кал/см^2. (Нижние пределы относятся к бомбам малого калибра, верхние — крупного калибра.)

Ожог этой степени сопровождается покраснением кожи и некоторой болезненностью. При подобных ожогах рук, лица, шеи работоспособность в значительной мере сохраняется и пораженные могут принимать участие

в продолжении боя. Ожоги первой степени заживают сравнительно быстро.

Ожоги второй степени характеризуются образованием пузырей и требуют специального более длительного лечения. Такие ожоги возникают при значениях световых импульсов 4—10 кал/см².

Как правило, ожог второй степени лишает пострадавшего всякой работоспособности. Поэтому считают, что все лица, попавшие под воздействие светового излучения ядерного взрыва на таком расстоянии, где световой импульс достаточен, чтобы вызвать ожоги второй степени, будут потенциальными потерями. Разумеется, некоторая часть людей из строя не будет выведена, так как многие окажутся в известной мере защищенными от светового излучения.

Ожоги третьей степени сопровождаются образованием язв, омертвлением кожи и подкожных тканей. Такие ожоги возникают при значениях световых импульсов 10—15 кал/см². При световом импульсе свыше 15 кал/см² происходит обугливание открытых частей тела. Ожоги третьей степени нуждаются в длительном лечении.

Деление ожогов на три группы в некоторой степени условное, поскольку нет возможности провести резкую разграничительную линию между ожогами первой и второй степени или между ожогами второй и третьей степени. Поэтому при предварительном рассмотрении может оказаться трудным установить различие между сильным ожогом второй степени и слабым ожогом третьей степени. Однако последующая патология поражения обычно делает такое различие возможным.

Степень ожога — не единственный фактор при определении его действия на человека. Размеры пораженной площади кожи также имеют большое значение. Так, например, ожог первой степени по всему телу может оказаться более серьезным, чем ожог третьей степени в каком-нибудь одном месте. Чем больше обожженная площадь, тем больше влияние ожога на весь организм. Кроме того, имеются такие критические участки, например руки, ожоги которых чаще всего выводят человека из строя.

По рис. 51 легко установить расстояния, на которых можно ожидать ту или иную степень поражения при разных состояниях атмосферы.

Для этого нужно на рис. 51 провести прямые линии, параллельные горизонтальной оси, на расстояниях, равных величине импульса, необходимого для нанесения той или иной степени поражения. Выполнив такие построения (для атомной бомбы с тротиловым эквивалентом 20 тыс. т), определим, что ожоги первой степени можно ожидать в ясную погоду на расстоянии 4000—5000 м, ожоги второй степени — на расстоянии до 2500 м и ожоги третьей степени — на расстоянии до 1500 м от эпицентра взрыва. При таком состоянии атмосферы, когда коэффициент ослабления $\kappa = 0{,}2\frac{1}{км}$, ожоги первой степени возможны на расстоянии до 2700 м, а при $\kappa = 2\frac{1}{км}$ — до 1200 м.

При взрывах атомных бомб в Хиросиме и Нагасаки (тротиловый эквивалент этих бомб оценивается в 20 тыс. т) обугливание кожи человека наблюдалось в радиусе примерно до 1200 м от эпицентра взрыва. Тепло взрыва ощущалось на расстоянии свыше 9000 м. Установлено, что при воздействии на тело человека в течение одной секунды светового импульса в 0,3 кал/см^2 ощущается слабая боль. Имея кривые величин импульсов с расстоянием для различных состояний атмосферы и различных калибров бомб, можно всегда оценить радиусы поражения световым излучением от этих бомб. Ориентировочные радиусы поражения световым излучением людей в зависимости от величины тротилового эквивалента ядерных бомб (при дальности видимости 25 км) приведены в таблице 7 (при этом учитывалось время действия излучения в зависимости от калибра бомбы) [1].

Хотя от действия светового излучения большей частью поражаются открытые участки тела человека, однако в Хиросиме и Нагасаки были зарегистрированы случаи ожогов кожи, защищенной одним и даже несколькими слоями одежды. Такие случаи наблюдались обычно на тех участках тела человека, к которым одежда плотно прилегала,— на локтях, плечах, талии. Те части тела (спина), где одежда свободно спадала, остались неповрежденными.

---

[1] «The Effects of Nuclear Weapons», Washington, 1957.

Таблица 7

Радиусы поражения световым излучением людей (в километрах) в зависимости от калибра ядерных зарядов (при прозрачности атмосферы, соответствующей дальности видимости 25 км)

Характер поражения	Тротиловые эквиваленты				
	1000 т	20 тыс. т	1 млн. т	5 млн. т	10 млн. т
Ожог третьей степени	0,6	2,4	12,8	24,0	32,2
Ожог второй степени	0,8	2,9	14,4	28,8	43,3
Ожог первой степени	1,1	4,2	22,4	36,4	51,3

Люди, одетые в темную одежду, получали более сильные ожоги, чем люди, одетые в белую или других светлых тонов одежду. У людей в многоцветной одежде участки тела, находившиеся под рисунками темного цвета, получили более сильные ожоги. Отмечен случай, когда женщина, одетая в цветное платье, получила ожоги тела только в тех местах, которые находились под темными рисунками ткани (рис. 58).

Степень ожога защищенных участков тела человека в большой степени определяется толщиной и плотностью одежды. Например, были отмечены случаи, когда люди, одетые в форму цвета хаки, не получили ожогов тела, хотя находились на расстоянии 1500 м от места взрыва (на этом расстоянии на открытых участках тела наблюдались ожоги третьей степени).

Действие светового излучения на глаза людей при взрыве ядерных зарядов оказывается незначительным. Даже те люди, которые смотрели в сторону взрыва, только временно потеряли зрение. Это объясняется тем, что действенную защиту оказывал мигательный рефлекс. Время зажмуривания меньше 0,1 сек., то есть во много раз меньше, чем время действия светового излучения. Многочисленные ожоги век (а не глаз) в Хиросиме и Нагасаки подтверждают, что мигательный рефлекс при яркой вспышке имеет большое значение с точки зрения защиты глаз от светового излучения ядерного взрыва.

Значительно опаснее для зрения ядерный взрыв на большой высоте, происходящий хотя бы и на большом расстоянии. Это обусловлено тем, что при таком взрыве излучение осуществляется очень быстро и глаз не успевает закрыться.

С целью защиты глаз от светового излучения никогда не следует при взрыве стараться увидеть огненный шар. Отличительная особенность ожогов световым излучением



Рис. 58. Ожоги, полученные человеком в результате воздействия светового излучения. Кожа обожжена только в местах, закрытых темным рисунком ткани

такова, что они строго ограничены незащищенными участками кожи, которые были обращены к центру взрыва (источнику светового излучения). Такие ожоги были названы «профильными ожогами». На закрытых или теневых участках тела ожогов, как правило, не имелось. Это объясняется тем простым фактом, что световое излучение распространяется прямолинейно (в ясную погоду) и, следовательно, действует главным образом на те участки кожи, которые не защищены. Можно привести следующие примеры «профильных ожогов» в городах Хиросима и Нагасаки.

Человек сидел у окна и писал; его руки были сильно обожжены, однако ничем не прикрытые лицо и шея ока-

зались лишь незначительно обожженными только потому, что угол падения лучей был таким, что они не оказали существенного воздействия на туловище и лицо человека (угол падения был большой).

Солдаты, находившиеся в полуодетом виде на расстоянии 1800 м от места взрыва, получили ожоги только на одной стороне тела, обращенной к источнику светового излучения. На рис. 59 показан «профильный ожог»,



Рис. 59. «Профильный ожог». Шапка предохранила верхнюю часть головы от ожога

полученный в результате воздействия светового излучения. Шапка оказалась достаточной защитой и предохранила верхнюю часть головы от ожога.

Значит, человек, находящийся в тени[1], создаваемой каким-либо предметом, при распространении светового излучения может полностью избежать ожогов.

Следует помнить, что любая непрозрачная преграда, защищающая от прямого действия света, в большинстве случаев полностью исключает ожоги. Обычное обмундирование также оказывает защитное действие от светового излучения атомного взрыва.

---

[1] Имеется в виду тень от светового излучения ядерного взрыва.

Действие светового излучения на различные материалы. Под действием светового излучения ядерного взрыва могут наблюдаться не только ожоги частей тела. Световое излучение вызывает возгорание и обугливание различных горючих материалов. Непосредственно на поле боя под действием светового излучения могут возгораться или обугливаться деревянные детали вооружения и техники, воспламеняться чехлы, резиновые катки у танков и автомашин, может обгорать краска танков и других предметов вооружения.

Под действием светового излучения в засушливое время года могут возникнуть пожары в лесу, степи. Большой опасности будут подвергаться склады горюче-смазочных материалов, боеприпасов и другого имущества. В условиях военно-морской базы могут воспламениться причальные сооружения, мелкие деревянные плавсредства, пирсы. На кораблях может произойти воспламенение брезентовых чехлов, деревянных настилов и рангоутов, пеньковых тросов и т. д. Боевой корабельной технике световое излучение серьезных повреждений причинить не может. В отдельных случаях, при прямом воздействии светового излучения, возможно обугливание резиновых амортизаторов, обгорание или потемнение краски на кораблях и т. д.

При взрыве ядерного заряда в условиях аэродрома под действием светового излучения может произойти обгорание лакокрасочных покрытий самолетов, воспламенение чехлов, шторок в кабинах самолетов, парашютных сумок, ветоши и т. д.

В населенных пунктах под действием светового излучения могут возникнуть пожары за счет воспламенения деревянных построек, заборов, сараев, складов тары и т. д.

Ориентировочные значения световых импульсов, вызывающих обугливание и устойчивое горение некоторых материалов, а также расстояния, на которых происходит горение этих материалов при взрыве атомной бомбы с тротиловым эквивалентом, равным 20 тыс. т, при вполне ясной погоде, когда ослаблением светового излучения в атмосфере можно пренебречь, приведены в таблице 8.

Наибольшую опасность в пожарном отношении представляют рыхлые горючие материалы: сено, солома, стружки.

Таблица 8

Ориентировочные значения световых импульсов, вызывающих обугливание и устойчивое горение

Материал	Световой импульс, кал/см²		Расстояние от эпицентра взрыва, м
	обугливание	устойчивое горение	
Доски сухие, неокрашенные . .	4—5	40—50	1100—1300
Доски, окрашенные белой краской	30—40	100—150	—
Сухое сено, солома	2—3	4—6	3000—3500
Брезент	30	40	1200
Хлопчатобумажная ткань светлая	4—6	10—15	2000—2500
Хлопчатобумажная ткань темная	2—3	4—6	3000—3500
Материал цвета хаки	4—6	8—10	2500—2700
Синтетический каучук	—	8—10	2500—2700
Бакелит	75	—	—

Приведенные импульсы соответствуют материалам, находящимся в сухом состоянии. Для нанесения тех же степеней поражения влажным материалам требуются импульсы в несколько раз (в два — три и более в зависимости от влажности материала) больше приведенных. Значит, в дождливую погоду площадь поражения световым излучением будет меньше не только за счет ослабления светового излучения атмосферой, но и вследствие того, что для нанесения одной и той же степени поражения нужны бóльшие импульсы. При наземном (надводном) ядерном взрыве расстояния, на которых происходит такое же поражение, будут меньше, чем при воздушном взрыве, так как часть световой энергии экранируется и поглощается пылью, поднятой ударной волной.

В иностранной печати отмечается, что возникновение пожаров, вызываемых световым излучением при воздушном взрыве ядерного заряда, эквивалентного 20 тыс. т тротила, наиболее вероятно в зоне от 0,8 до 3 км от эпицентра взрыва. Некоторые наружные очаги пожара, возникающие на расстояниях свыше 1 км от эпицентра, тушатся (сбивается пламя) ударной волной, которая приходит на эти расстояния по окончании эффективного действия светового излучения. Поэтому маловероятно, что на близких расстояниях пожар начнется с внешних поверхностей строений. Главная опасность — это загорание материалов (занавесей на окнах, обоев, ковров,

одежды, обивки на мебели и пр.), находящихся внутри зданий под действием светового излучения, прошедшего через окна. Примерно 80—90% падающего света видимой и близкой инфракрасной областей спектра (до трех микрон) пропускается оконным стеклом. А для воспламенения тюлевых занавесей нужен световой импульс, равный 12—15 кал/см^2.

Следует помнить, что почти любая тонкая горючая хозяйственная ткань загорается, если она получает световой импульс порядка 10 кал/см^2.

Очаги огня, возникшие внутри помещений, не тушатся ударной волной. Таким образом, в результате воздействия светового излучения в помещениях, окна которых обращены в сторону взрыва, может возникнуть множество небольших, быстро разгорающихся очагов пожара. Для борьбы с развивающимися пожарами необходимо как можно быстрее ликвидировать начальные очаги огня. Большое значение имеют заранее проведенные противопожарные мероприятия.

Как уже отмечалось, в населенных пунктах пожары могут возникнуть также из-за вторичных причин, например в результате разрушений печей, котлов, коротких замыканий в электросети, разрывов газопроводов и т. д. Однако количество пожаров и общая площадь, пострадавшая от огня, будут зависеть от многих причин: от рельефа местности, на которой расположен город, от скученности зданий, их воспламеняемости, направления ветра, метеорологических условий и т. д. Поэтому трудно заранее определить общую площадь, пострадавшую от огня.

Например, при атомной бомбардировке в Хиросиме, расположенной на равнинной местности и имевшей большую плотность застройки, возникло одновременно много очагов пожаров. Дым и горячий воздух, поднимаясь вверх, вызывали сильную тягу к центру пожара, которая еще больше усилила пожар. Скорость ветра достигала 60 км/час. В результате через 20 минут после взрыва возникла так называемая «огненная буря». Она утихла только через шесть часов, причем известную роль в этом сыграл сильный дождь, последовавший за взрывом. Узкие улицы и сплошные завалы на них не давали возможности населению выйти из района, охваченного пожаром. Вот почему половина смертных случаев была

вызвана огнем, а три четверти пострадавших от взрыва получили ожоги. В условиях дезорганизованной пожарной службы пожары не могли быть потушены.

Как уже отмечалось, в Хиросиме 70% противопожарного оборудования было уничтожено в результате разрушения пожарных депо и 80% их личного состава не могли принять участие в тушении пожара. Разрастанию пожаров способствовал еще тот факт, что как в Хиросиме, так и в Нагасаки была нарушена почти полностью система водоснабжения. Были серьезно повреждены распределительные трубы и магистрали, в результате чего появилась утечка воды и упало ее давление.

В результате этого пожаром были уничтожены почти все деревянные постройки в зоне радиусом более 3 км от эпицентра взрыва. От пожаров серьезно пострадали и другие постройки и сооружения на большой площади.

Наоборот, в Нагасаки, расположенном на холмистой местности, огненная буря не возникла, так как холмы явились преградой на пути распространения огня и, таким образом, сыграли такую же роль, какую играют просеки, препятствующие распространению огня в лесу. Известно, что на обратных скатах холмов в Нагасаки повреждения домов были незначительными, в то время как в Хиросиме на том же расстоянии от места взрыва (на ровной местности) они были полностью разрушены. Холмы создали также тень и от прямых лучей света огненного шара. Появление огненной бури возможно не только при ядерном взрыве. Известны случаи возникновения множества пожаров и от сбрасывания большого количества фугасных и зажигательных бомб. Например, при бомбардировке Гамбурга во время второй мировой войны одновременно горело 16 тысяч домов, температура воздуха в районе пожара достигла 800°. Воздух в убежищах сильно нагрелся, и находившиеся в них люди погибали от теплового удара. Те же, кто пытался бежать по кварталам, охваченным пожаром, сгорели заживо. Еще до этого большое количество людей погибло от отравления окисью углерода, содержащейся в дыме пожарищ (если в воздухе находится 0,5% окиси углерода, то человек умирает в течение десяти минут). Буря срывала двери в убежищах, после чего туда проникала окись углерода. Всего в Гамбурге погибло 100 тысяч человек. Приведенные примеры говорят о том,

что располагать войска в больших городах во время войны нужно с большой осторожностью.

Детальное изучение крупных пожаров показало, что при прочих равных условиях наиболее важным критерием вероятности распространения огня является расстояние между зданиями. Ясно, что при меньшей плотности застройки района меньше и вероятность того, что огонь будет перекидываться от одной постройки к другой. Далее, чем больше расстояние между зданиями, тем больше возможностей потушить огонь.

Известно также, что скопление горючего материала у построек, особенно деревянных, представляет собой реальную угрозу возникновения пожара.

Было установлено большое значение огнестойкой отделки. В иностранной литературе[1] приводится такой случай при ядерных испытаниях. Два одинаковых дома (каждый имел окно, обращенное к взрыву) находились под воздействием светового излучения в 17 кал/см^2. В одном доме были обивка из искусственного шелка, хлопчатобумажные коврики и занавески. При взрыве этот дом был немедленно охвачен пламенем и сгорел полностью. В другом доме обивка была из виниловой пластмассы, а коврики и занавески были шерстяными. Хотя пожар в доме и вспыхнул в нескольких местах, однако был потушен пожарной группой, которая пришла в дом через час после взрыва.

Особенности защиты от светового излучения ядерного взрыва. При ядерном взрыве на открытой местности человек получает комбинированное поражение. Поэтому противоатомная защита должна включать мероприятия, предусматривающие защиту от всех поражающих факторов.

Однако, предусматривая комплекс мероприятий, обеспечивающих защиту одновременно от всех поражающих факторов, необходимо знать, какие особенности характеризуют каждый из них в отдельности.

На рис. 60 схематически изображен профиль траншеи. Из рисунка видно, что крутости траншеи дают защиту от прямого действия светового излучения.

Но можно ли сказать, что, обеспечив защиту от прямых лучей света в траншее, мы полностью исключим по-

---

1 «The Effects of Nuclear Weapons», Washington, 1957.

ражающее действие светового излучения? Этого сказать нельзя. Действительно, лучи, падающие на крутости траншеи, частично отражаются от них (обозначено пунктирными линиями со стрелками на рис. 60). За счет отраженной от крутости траншеи части светового излучения человеку, находящемуся на дне траншеи, могут быть нанесены поражения (ожоги). При одном и том же количестве светового излучения, падающего на крутость

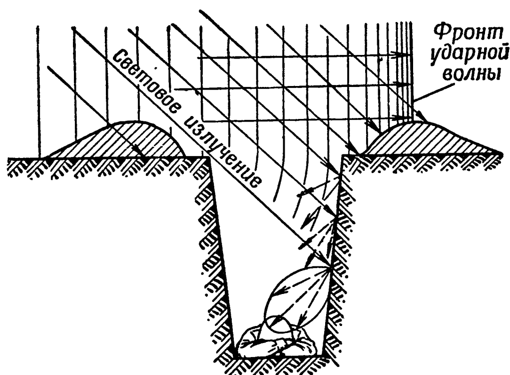


Рис. 60. Траншея ослабляет поражающее действие светового излучения атомного взрыва

траншеи, степень поражения человека, находящегося в ней, зависит от отражательной способности крутости траншеи и распределения отраженного света в пространстве относительно точки падения луча.

Таким образом, нельзя утверждать, что, обеспечив защиту от прямых лучей в открытом окопе или траншее, можно всегда полностью избежать поражения от светового излучения атомного (водородного) взрыва. Тем более этого нельзя сказать при наличии облаков, как уже указывалось выше. В открытом окопе или траншее в момент атомного взрыва нужно лежать лицом вниз, чтобы получить меньшее поражение под действием отраженной части светового излучения от крутости траншеи и облаков, как показано на рис. 60.

Конечно, во многих случаях отражение светового излучения от крутости траншеи может быть и не опасным для лежащего в ней. Однако этот факт нужно учитывать при организации противоатомной защиты.

Каким образом можно повысить защитные свойства фортификационных сооружений? Это достигается, в частности, устройством крытых щелей или покрытием отдельных участков траншей.

Крытый окоп или крытый участок траншеи не только полностью исключает действие светового излучения, но и дает более надежную защиту от проникающей радиации, ударной волны и в некоторой степени от радиоактивной пыли.

Защита от светового излучения значительно более проста, чем защита от других поражающих факторов. Как уже отмечалось, световое излучение в ясную погоду распространяется в основном прямолинейно, поэтому любая непрозрачная преграда, любое тело, дающее тень, могут служить защитой от него.

Следовательно, используя для укрытия окопы, ямы, канавы, воронки, бугры, насыпи, крупные образцы военной техники, кроны деревьев и т. п., можно значительно ослабить или вовсе избежать ожогов от светового излучения. Хорошей защитой от светового излучения могут служить помещения кораблей.

Следует помнить что около 85% световой энергии излучается примерно за одну секунду после взрыва. Поэтому, увидев вспышку, нужно быстро, без всякого промедления, занять ближайшее убежище, находящееся в двух — трех шагах. Если никакого убежища рядом нет, бежать и искать его ни в коем случае нельзя. Нужно быстро лечь на землю лицом вниз, ногами в сторону взрыва. Кисти рук спрятать под себя, глаза закрыть во избежание возможной временной потери зрения. Соблюдение этого правила значительно уменьшит поражение от ударной волны и предохранит открытые участки тела (лицо, руки) от поражения световым излучением.

При воспламенении обмундирования никогда не нужно бежать, так как горение при этом только усилится. Пламя необходимо тушить, прижимаясь горящим местом к земле. Оказывая помощь товарищу, надо накинуть на него плащ-палатку или шинель и плотно прижать ее к телу, как показано на рис. 61. На обожженные места необходимо сразу же наложить повязку, используя индивидуальный перевязочный пакет. Если одежда пристала к обожженному телу, то ее нельзя срывать,

повязку накладывают поверх одежды. Ни в коем случае не следует разрезать образовавшиеся на коже пузыри.

Загоревшуюся растительность, одежду крутостей траншей и окопов и различное имущество и технику нужно тушить песком, землей, огнетушителями или влажными метлами, вениками, ветками.

Борьба с пожарами значительно облегчается при заблаговременном проведении ряда пожарно-профилактических мероприятий. Их целью является: уменьшение



Рис. 61. Горящую одежду нужно тушить плащ-палаткой или шинелью, прижав ее к телу

возможности возникновения пожаров, создание условий, затрудняющих перерастание мелких очагов загорания в пожары, облегчение борьбы с пожарами.

Укажем некоторые из этих мероприятий. Все открытые деревянные части оборонительных сооружений для защиты от светового излучения обязательно обмазывают глиной (землей) или известковым раствором, в одежде крутостей траншей через каждые 40—50 м делают противопожарные разрывы длиной 1—2 м. Вокруг оборонительных сооружений, расположенных в лесу, убирают хворост, хвою и сухую траву, а в населенных пунктах сносят легкие деревянные строения и заборы.

На кораблях легко воспламеняющееся оборудование (чехлы, настилы и т. д.) следует поливать периодически водой из пожарной магистрали, так как для воспламенения или обугливания влажных материалов требуется

гораздо больший (вдвое, втрое и т. д. в зависимости от влажности материала) световой импульс, чем для сухих.

В лесу для прекращения распространения пожаров могут быть сделаны просеки шириной 5—10 м, расчищенные от хвои, валежника и сухой травы, в степи — вспаханные полосы и т. д. Войска должны быть обеспечены противопожарным инвентарем.

Особое значение противопожарные мероприятия приобретают в населенных пунктах. С целью предупреждения пожаров должны быть проведены пожарно-профилактические мероприятия. Очищаются чердачные помещения и лестничные клетки от сгораемых материалов. Открытые деревянные конструкции зданий и сооружений, в том числе и сгораемые конструкции чердаков, в целях повышения их огнестойкости рекомендуется пропитывать или окрашивать специальными огнезащитными составами или обмазывать жидкой глиной. Если чердачные перекрытия имеют сгораемые утеплители (торф, опилки и пр.), то их заменяют на несгораемые или засыпают слоем песка, земли, глины толщиной в 10—15 см.

Некоторые деревянные строения (сараи, дома, заборы и пр.), как уже отмечалось, сносятся, а другие легковоспламеняющиеся материалы (тара, деревянные склады и пр.) убираются или покрываются несгораемыми брезентами.

Чтобы воспрепятствовать проникновению светового излучения внутрь помещений через окна, стекла рекомендуется белить.

Оконное стекло пропускает около 90% падающей на него световой энергии, лежащей в видимой и близкой инфракрасной областях спектра (до трех микрон). В то же время стекло почти полностью поглощает ультрафиолетовые лучи и длинноволновую (свыше трех микрон) часть инфракрасного спектра. Поглощательную способность к видимым и инфракрасным лучам оконного стекла можно повысить, покрыв его побелкой. Простая побелка стекол задержит около 80% светового излучения. Побелку предлагается приготовлять по следующему рецепту [1]: негашеная известь, жир и вода в пропорции 10 : 1 : 30 (покрытие наносится в два слоя с внешней стороны окна).

---

[1] Д. И. Лоусон. Атомная бомба и пожары. Перевод с английского. Издательство иностранной литературы, 1955.

Чтобы уменьшить разлет стекол от действия ударной волны, их рекомендуется оклеивать белой материей, тюлем или бумагой.

Одежду, книги и другие легковоспламеняющиеся предметы необходимо убирать в плотно закрывающиеся шкафы или ящики. Все излишние запасы горючих материалов из помещений должны быть удалены. Керосин в жилых квартирах разрешается хранить в небольших количествах, в железной, плотно закрывающейся таре. Особое внимание должно быть уделено разъяснению правил пожарной безопасности и пользованию простейшими средствами пожаротушения.

В населенных пунктах должны быть предусмотрены меры тушения пожаров в случае вывода из строя водопровода и т. д.

После взрыва ядерного заряда могут возникнуть одновременно много очагов пожара. Нельзя рассчитывать, что пожарные команды смогут одни бороться с пожарами, охватившими район протяжением в несколько километров. Пожарным командам нужно будет оказать помощь. Необходимо вовремя обнаружить и ликвидировать малые очаги огня, прежде чем они успеют распространиться. Всегда следует помнить один из уроков атомных бомбардировок японских городов Хиросима и Нагасаки. Вследствие разрушения домов, а следовательно, и водопроводных магистралей, прекратилась подача воды.

Поэтому отдельные промышленные предприятия или районы города следует обеспечить цистернами или резервуарами достаточной емкости (в этом отношении важную роль играют пруды) для хранения воды, необходимой для борьбы с очагами пожаров.

Соблюдение этих правил значительно уменьшит количество жертв и возможных пожаров при взрыве атомной бомбы.

Изложенный в этом разделе материал нельзя, конечно, считать исчерпывающим по вопросу защиты от светового излучения. Здесь даются лишь основные сведения. Однако твердое знание поражающих факторов ядерного взрыва и особенностей их действия всегда поможет сделать разумный выбор методов защиты в конкретной обстановке атомного взрыва, снизить потери и ущерб, наносимый им.

На рис. 70 даны значения дозы гамма-излучения на различных расстояниях от центра воздушного взрыва бомб с тротиловыми эквивалентами 2000, 20 000 и 200 000 т.

При воздушном взрыве расстояние обычно измеряется от эпицентра, поэтому для расчета дозы расстояние от

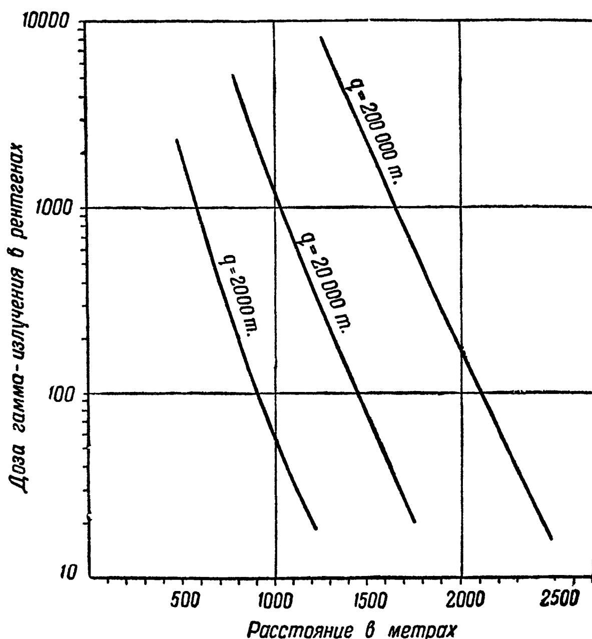


Рис. 70. Зависимость дозы гамма-излучения от расстояния до центра взрыва

центра взрыва должно быть рассчитано с учетом высоты взрыва. Если обозначим расстояние от эпицентра взрыва $R_э$, а высоту взрыва H, то расстояние от центра взрыва до какой-либо точки на поверхности земли определяется выражением:

$$R = \sqrt{H^2 + R_э^2}.$$

Нетрудно заметить, что при $R_э = 0$, то есть непосредственно в эпицентре, расстояние от центра взрыва будет равно высоте взрыва.

Величина дозы радиации при взрыве одинаковых атомных боеприпасов будет тем больше, чем меньше расстояние от центра взрыва. Но расстояние до данной точки на поверхности земли зависит от высоты взрыва. Эта зависимость особенно заметна на небольших удалениях от места взрыва и наглядно подтверждается следующим численным примером.

Предмет, расположенный от центра наземного взрыва ($H = 0$) на расстоянии 100 м, находится на расстоянии 610 м от центра воздушного взрыва при $H = 600$ м. Если при тех же условиях взрыва предмет удалить от центра наземного взрыва на расстояние 2000 м, то расстояние от центра воздушного взрыва станет равным 2080 м. Таким образом, доза гамма-излучения на малых расстояниях от центра наземного взрыва будет много больше, чем на тех же расстояниях, отсчитанных от эпицентра воздушного взрыва. Однако на значительных расстояниях, где высота взрыва на расстояние практически не влияет, доза гамма-излучения для обоих видов взрыва приблизительно одинакова. По этой причине радиус зоны, где при воздушном взрыве возможны лучевые заболевания средней степени (доза 200—300 рентгенов), сравнительно мало отличается от радиуса зоны таких же лучевых поражений при наземном взрыве.

Необходимо заметить, что вследствие сильного поглощения излучения воздухом даже небольшое увеличение расстояния дает существенное уменьшение дозы гамма-излучения. Так, например, если расстояние возрастает с одного до полутора километров, то есть в 1,5 раза, то доза уменьшится более чем в 15 раз.

Конечно, если изменить калибр бомбы, то изменится и общее количество гамма-квантов, испускаемых при взрыве данной бомбы. Изменение калибра связано с изменением числа разделившихся ядер, то есть с количеством осколков деления — основных источников гамма-излучения.

Можно полагать, что общее количество испускаемых гамма-квантов пропорционально числу разделившихся атомных ядер, следовательно, и количеству выделенной при взрыве энергии. Доза гамма-излучения, создаваемая на различных расстояниях от места взрыва, также приблизительно пропорциональна этой величине. Таким образом, для ориентировочной оценки величины дозы

при взрыве атомных боеприпасов, не сильно различающихся по своему тротиловому эквиваленту, можно воспользоваться следующей несложной формулой:

$$Д_1 \simeq Д_2 \frac{q_1}{q_2},$$

где $Д_1$ — доза от атомной бомбы с тротиловым эквивалентом q_1;

$Д_2$ — доза при взрыве атомной бомбы с тротиловым эквивалентом q_2.

Например, известно, что на расстоянии от центра взрыва, равном 1500 м, при $q_2 = 20$ килотоннам $Д_2 = 80$ рентгенам (см. график на рис. 70). Для атомной бомбы калибром 10 килотонн на этом же расстоянии доза будет равна приблизительно 40 рентгенам.

Однако было замечено, что при увеличении мощности взрыва доза гамма-излучения возрастает не пропорционально тротиловому эквиваленту, а заметно быстрее. Так, например, на расстоянии 1600 м от места взрыва атомного заряда с тротиловым эквивалентом 1000 т доза гамма-излучения равна 2,5 рентгенам; при взрыве заряда калибром 100 тыс. т доза на том же расстоянии увеличилась в 150 раз и оказалась равной 375 рентгенам. Такая зависимость дозы гамма-излучения от расстояния объясняется влиянием ударной волны, движущейся от места взрыва во время распространения γ-лучей.

Теоретически было установлено и опытами подтверждено, что поглощение гамма-лучей на пути от центра взрыва до рассматриваемой точки зависит от перераспределения масс воздуха, которое вызывается проходящей ударной волной.

При прохождении сравнительно сильной ударной волны (давление на фронте которой значительно больше атмосферного давления), как известно, основная масса воздуха, вовлеченного в движение, оказывается сосредоточенной в тонком слое около фронта волны. При этом внутри ударной волны образуется область с малой плотностью воздуха — полость. Область с малой плотностью воздуха существует некоторое время и после прохождения ударной волны, когда будет восстановлено первоначальное давление. Объясняется это тем, что при прохождении ударной волны воздух нагревается. Этот разо-

грев воздуха особенно велик на небольших расстояниях от центра взрыва. Чем выше температура нагретого воздуха, тем меньше его плотность и, следовательно, тем лучше проходят в нем гамма-лучи. Охлаждение воздуха и восстановление его нормальной плотности происходит в течение довольно длительного времени, значительно превышающего время испускания большей части гамма-излучения. Например, спустя 5,35 сек. после прохождения ударной волны (q = 300 тыс. т) радиус полости, где плотность в пять раз меньше, чем в окружающем воздухе, составляет 600 м.

Выше уже указывалось, что интенсивность гамма-излучения в данном пункте земной поверхности убывает в результате распада осколков и подъема атомного облака. Образование полости сильно разреженного воздуха приводит к возрастанию интенсивности гамма-излучения, так как внутри полости γ-лучи проходят практически без поглощения. Возрастание интенсивности является наиболее заметным тогда, когда зона сжатия ударной волны пройдет точку измерения дозы. Эта точка в данном случае окажется внутри полости, и поглощения гамма-лучей не будет. Однако наличие ударной волны уменьшает поглощение гамма-лучей и, следовательно, приводит к увеличению дозы и в той точке, до которой фронт волны еще не дошел.

Для расчета дозы гамма-излучения атомного взрыва предлагается формула следующего вида:

$$Д = \frac{A}{R^2} e^{-\frac{R}{\lambda_{эфф}}},$$

где А — множитель, учитывающий мощность взрыва и влияние ударной волны;

R — расстояние от центра взрыва;

$\lambda_{эфф}$ — эффективная длина пробега гамма-квантов в воздухе. Величина $\lambda_{эфф}$ зависит от плотности среды и определяется опытным путем.

Приведенное выше выражение можно прологарифмировать следующим образом:

$$\lg(ДR^2) = \lg A - \frac{R}{\lambda_{эфф}} \cdot 0{,}434.$$

На рис. 71 показана типичная зависимость дозы гамма-излучения от расстояния. По горизонтальной оси на графике отложено расстояние от центра взрыва, а по вертикальной — логарифм произведения дозы на квадрат расстояния.

С помощью такого графика, построенного по данным опытов, можно найти величины А и $\lambda_{эфф}$.

График на рис. 71 наглядно показывает существование трех областей изменения дозы с расстоянием. Точки земной поверхности, отстоящие от центра взрыва на расстоянии $R < R_1$, то есть в области I, находятся внутри полости ударной волны в течение всего времени действия γ-излучения. В этой области доза изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния и поэтому логарифм произведения ДR^2 оказывается постоянным. В области II ($R_1 < R < R_2$) преобладает действие осколочного гамма-излучения, а в области III ($R > R_2$) — захватного. Расстояния R_1 и R_2 разграничивают эти области.

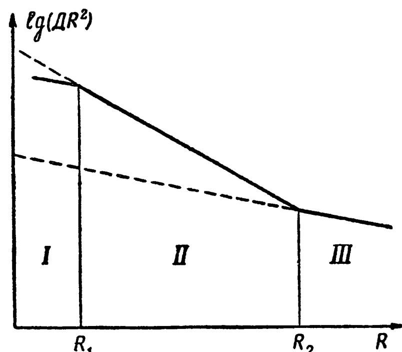


Рис. 71. Общий вид зависимости дозы гамма-излучения от расстояния

Наиболее характерной при оценке поражающего действия гамма-излучения является область II, поскольку на расстояниях R_2 и более доза обычно не превышает 100 рентгенов. Значения R_1 и R_2 в зависимости от мощности взрыва приводятся в табл. 21.

Таблица 21

Значения R_1 и R_2 для ядерных зарядов с различным тротиловым эквивалентом

q, тыс т	2	20	200	2000
R_1, м	250	400	1200	2000
R_2, м	1100	1400	2400	3500

Доза осколочного гамма-излучения (в области II) при воздушном взрыве может быть подсчитана по формуле:

$$Д = 1{,}4 \cdot 10^9 q (1 + 0{,}2q^{0,65}) \frac{e^{-\frac{R\rho}{300}}}{R^2},$$

где q — тротиловый эквивалент атомного заряда в тыс. тонн;

R — расстояние от центра взрыва в м;

ρ — плотность воздуха в кг/м³.

Эту формулу можно привести к виду ранее приведенной, если принять, что

$$A = 1{,}4 \cdot 10^9 q (1 + 0{,}2q^{0,65}) \text{ и } \lambda_{эфф} = \frac{300}{\rho}.$$

В воздухе нормальной плотности (температура 20° С и давление 760 мм рт. ст.) $\lambda_{эфф} = 250$ м.

Множитель в виде суммы, заключенной в скобки, обозначим $К_д$ ($К_д = 1 + 0{,}2q^{0,65}$). Этот множитель учитывает влияние ударной волны на распространение гамма-лучей в воздухе и часто называется фактором полости. Если $К_д = 1$, то доза пропорциональна мощности взрыва. Однако $К_д \simeq 1$ только для малых тротиловых эквивалентов.

При наземном взрыве на одних и тех же расстояниях, отсчитываемых от центра взрыва, доза гамма-излучения получается больше, чем при воздушном взрыве той же мощности. Это обусловлено тем, что в области II (рис. 71) ударная волна наземного взрыва является более сильной и поэтому влияние ее полости на величину дозы будет также более сильным. Приближенный расчет дозы при наземном атомном взрыве может быть произведен по формуле

$$Д = 2{,}8 \cdot 10^9 q (1 + 0{,}3q^{0,65}) \frac{e^{-\frac{R\rho}{300}}}{R^2}.$$

Захватное гамма-излучение действует всего лишь 0,2—0,3 сек., поэтому ударная волна практически не влияет на его распространение.

Вышеприведенные формулы для расчета дозы гамма-

излучения относятся к бомбам, основанным на делении тяжелых ядер. При термоядерных взрывах будет иным соотношение между энергией взрыва (тротиловым эквивалентом) и количеством испускаемых квантов и нейтронов, поскольку часть энергии будет выделена в результате реакции синтеза.

Как уже указывалось, доза гамма-излучения составляется из дозы осколочного излучения, накапливаемой в течение нескольких секунд и дозы захватного излучения, действие которого заканчивается практически через 0,3 сек. после взрыва.

Время накопления дозы зависит от расстояния и энергии взрыва. Чем больше расстояние, тем быстрее накапливается доза, так как с увеличением расстояния возрастает роль захватного излучения.

С увеличением тротилового эквивалента взрыва возрастает время действия полости, создаваемой ударной волной, и в связи с этим возрастает время, в течение которого накапливается доза гамма-излучения, иначе говоря, наблюдается более медленное накопление дозы. Приведем пример для подтверждения сказанного. При взрыве заряда $q = 200$ тыс. т на расстоянии 1500 м за первую секунду накапливается 30% полной дозы, тогда как при $q = 2000$ т на том же расстоянии и в течение того же времени может быть получено до 80% дозы. На рис. 72 дан график, показывающий скорость накопления дозы гамма-излучения при взрыве атомной бомбы среднего калибра. Приведенные на графике данные, как указывается в иностранной литературе, соответствуют расстоянию, на котором должна создаваться доза, равная 400 рентгенам.

Зависимость дозы гамма-излучения от мощности взрыва показана на рис. 73. Пользуясь графиками, приведенными на этом рисунке, можно определить расстояние от центра взрыва, где может быть получена заданная доза гамма-излучения, если известна мощность взрыва, выраженная в тысячах тонн тротилового эквивалента. Каждому графику соответствует определенное значение дозы, а именно: 30, 100, 300 и 1000 рентгенов. С помощью указанных графиков можно показать, что при взрыве атомной бомбы с тротиловым эквивалентом 20 000 т доза, равная 30 рентгенам, получается на

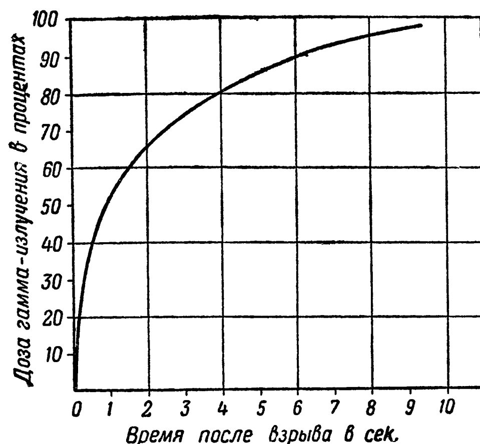


Рис. 72. Накопление дозы гамма-излучения при взрыве атомной бомбы среднего калибра

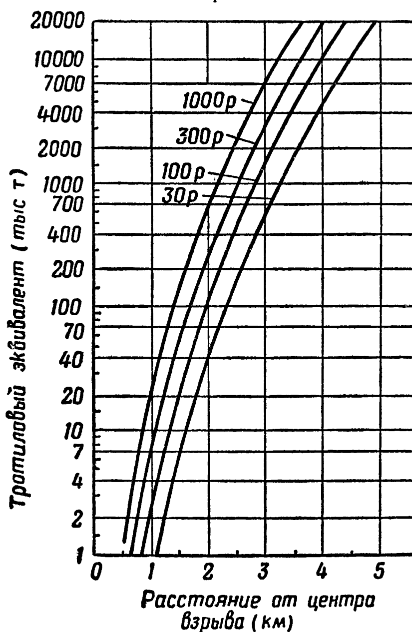


Рис. 73. Зависимость дозы гамма-излучения от тротилового эквивалента и расстояния до центра ядерного взрыва

расстоянии 1750 м, а при взрывах бомб калибром 5000 и 100 тыс. т — на расстояниях 1400 и 2300 м.

В настоящее время в иностранной печати имеются сообщения о том, что атомными зарядами могут снаряжаться зенитные и авиационные реактивные снаряды, предназначенные для поражения воздушных целей.

При взрыве на большой высоте испускаемые гамма-лучи и нейтроны распространяются в разреженной атмосфере и, следовательно, меньше ослабляются на своем пути от места взрыва.

Посмотрим, как изменится дальность поражающего действия проникающей радиации при высотном взрыве по сравнению с действием ее при взрыве у земли. При этом для удобства и большей наглядности будем считать, что если атомный взрыв произошел на некоторой высоте H, то и поражаемый объект находится на этой же высоте. Плотность воздуха с высотой непрерывно уменьшается. Так, например, на высоте 10 км она уменьшается в 3 раза, а на высоте 20 км — уже в 14 раз, поэтому и изменение ослабления проникающей радиации с увеличением высоты будет весьма существенным.

Эффективная длина поглощения энергии гамма-излучения с уменьшением плотности воздуха будет увеличиваться [1].

$$\lambda_H = \lambda_0 \frac{\rho_0}{\rho_H},$$

где λ_0 — эффективная длина поглощения энергии излучения в воздухе с плотностью ρ_0 (обычно у земли);

λ_H — эффективная длина пробега гамма-квантов в воздухе с плотностью ρ_H (на высоте H).

Ниже, в табл. 22, приводятся значения эффективной длины $\lambda_{эфф}$, рассчитанной для различных высот взрыва. При этом предполагается, что у земли имеются такие атмосферные условия, при которых $\lambda_{эфф} = 250$ м.

Таким образом, с увеличением высоты взрыва от 0 до 20 км толщина слоя воздуха, ослабляющего гамма-излучение в 2,7 раза, возрастает почти в 14 раз.

---

[1] Для удобства написания в приводимых ниже формулах индекс «эфф» не используется.

Таблица 22

Эффективная длина пробега гамма-квантов

Высота взрыва (км)	0	5	10	15	20
$\lambda_{эфф}$ (м)	250	420	740	1600	3400

Воспользовавшись последней формулой, можно определить, как изменится дальность поражающего действия гамма-излучения при взрыве на некоторой высоте. Расчеты показывают, что та доза, которая может быть получена при наземном взрыве на расстоянии 1 км, при взрыве на высоте 10 км будет создана на расстоянии приблизительно 2 км, а при взрыве на высоте 20 км — на расстоянии 4 км.

2. Нейтронная радиация

Нейтроны, образующиеся при атомном взрыве, подразделяются на мгновенные и запаздывающие. **Мгновенные нейтроны** деления имеют различную энергию, начиная от тепловой (0,025 эв) и примерно до 14 Мэв, причем среднее значение энергии получается около 2 Мэв.

Высвобождение мгновенных нейтронов происходит в процессе деления ядер и, следовательно, продолжается всего лишь миллионные доли секунды. Проходя через вещество бомбы, особенно через ее оболочку, нейтроны взаимодействуют с атомными ядрами, претерпевая замедление и захват.

Можно считать, что веществом оболочки бомбы нейтроны практически не поглощаются; оболочка разлетается, не успев их захватить. Следовательно, почти все свободные нейтроны, то есть нейтроны, не участвующие в цепной реакции деления, выходят в окружающее пространство. Однако большая часть этих нейтронов сильно замедляется веществом бомбы. Нейтроны, замедленные до тепловой энергии, распределяются вблизи центра взрыва, образуя своеобразное нейтронное «облако».

Сравнительно небольшая часть свободных нейтронов проходит оболочку бомбы почти без замедления. Эти нейтроны подобно гамма-лучам распространяются по всем направлениям от места взрыва.

Запаздывающие нейтроны испускаются некоторыми осколками деления в течение нескольких секунд и более после взрыва и, следовательно, не замедляются веществом бомбы. При делении атомных ядер урана 235 тепловыми нейтронами запаздывающих нейтронов возникает 0,73% от общего числа полученных нейтронов; при делении ядер плутония 239 запаздывающих нейтронов образуется несколько меньше — 0,36%. Энергия этих нейтронов составляет примерно 0,4—0,6 Мэв. При помощи быстрого химического анализа продуктов деления было показано, что источником запаздывающих нейтронов являются изотоп брома с периодом полураспада 55,6 сек., изотоп иода с периодом полураспада 22 сек. и некоторые другие более короткоживущие осколки деления. Несмотря на то, что доля запаздывающих нейтронов мала, их влияние на дозу нейтронной радиации может быть довольно значительным. Это обусловлено тем, что они не ослабляются веществом бомбы. Действие нейтронной радиации продолжается десятые доли секунды.

Для количественной оценки нейтронного излучения ядерного взрыва используется такая характеристика, как поток нейтронов. Поток нейтронов есть полное количество нейтронов, прошедших за все время излучения через 1 $см^2$ поверхности. Зная нейтронный поток, можно вычислить и дозу нейтронов.

Для расчета дозы быстрых нейтронов в зависимости от расстояния используются формулы, аналогичные по своей структуре формулам для расчета дозы гамма-излучения.

Доля нейтронов в общей дозе проникающей радиации несколько увеличивается с уменьшением калибра атомного оружия. Кроме того, выход нейтронов при атомном взрыве и их доза в отличие от дозы гамма-излучения зависят от конструкции бомбы и расщепляющегося материала. Это наглядно подтверждается графиками, приведенными на рис. 74. Бомба, взорванная над Хиросимой, имела в качестве ядерного взрывчатого вещества уран 235. Атомный заряд в бомбе, сброшенной

на Нагасаки, был изготовлен из плутония. Эти бомбы существенно различались и по своей конструкции. Измерения показали, что в Хиросиме медленных нейтронов было примерно в десять раз больше, чем в Нагасаки; нейтронов с энергией более 2,5 Мэв было приблизительно в три раза больше.

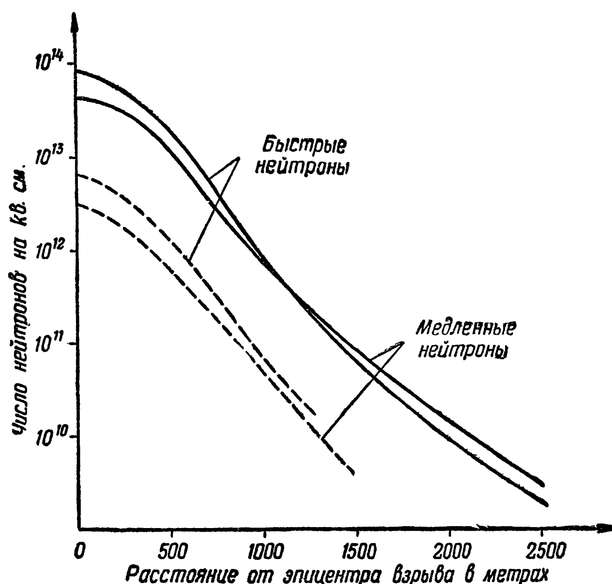


Рис. 74. Изменение потока нейтронов с расстоянием (сплошные кривые — взрыв над Хиросимой, пунктирные — над Нагасаки)

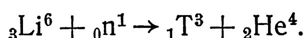
Поражающее действие вызывается главным образом нейтронами с энергией 0,2—0,3 Мэв; действие более медленных нейтронов проявляется в основном в образовании искусственных радиоактивных веществ.

Общая доза проникающей радиации определяется суммой дозы гамма-излучения, выраженной в рентгенах, и дозы нейтронов, определенной в биологических эквивалентах рентгена. Доза, создаваемая нейтронами на одних и тех же расстояниях от центра атомного взрыва, меньше дозы гамма-излучения, составляющей больше половины от суммарной дозы проникающей радиации.

Поэтому расчет защитного слоя для проникающей радиации во многих случаях можно производить только по гамма-излучению.

3. Проникающая радиация при термоядерном взрыве

В качестве термоядерного взрывчатого вещества, как уже указывалось, используются изотопы водорода в виде соединения с литием, в частности дейтерид лития. Нейтроны атомного заряда, используемого для взрыва термоядерной бомбы, образуют тритий, когда они взаимодействуют с ядрами изотопа лития:



$$_3Li^6 + _0n^1 \rightarrow _1T^3 + _2He^4.$$

В результате ряда сложных ядерных реакций между дейтерием, тритием и литием происходит выделение большого количества энергии, часть которой уносят образующиеся нейтроны. При термоядерном взрыве могут протекать также и другие реакции.

Продуктами этих реакций в основном являются альфа-частицы и нейтроны; на каждую пару соединяющихся ядер дейтерия и трития приходится одна альфа-частица и один нейтрон. При взрыве 1 кг смеси, состоящей из дейтерия и трития, выделяется $1{,}2 \cdot 10^{26}$ нейтронов. Взрыв 1 кг урана дает нейтронов значительно меньше. Известно, что при делении каждого ядра урана освобождается в среднем 2,5 нейтрона. Если принять, что на поддержание цепной реакции расходуется один нейтрон, а остальные в реакции не участвуют, то количество последних будет равно $3{,}8 \cdot 10^{24}$, то есть в 30 раз меньше, чем в первом случае.

Проникающая радиация термоядерного взрыва определяется потоком как нейтронов, так и гамма-лучей, которые возникают в результате взаимодействия нейтронов с элементами, содержащимися в материалах бомбы и в воздухе.

Дальность поражающего действия проникающей радиации меньше расстояний, на которых возможны поражения ударной волной и световым излучением. Подтвердим это с помощью ориентировочного расчета.

Допустим (совершенно произвольно), что в реакции соединения трития с дейтерием участвуют ядра атомов,

содержащихся в 12 кг смеси трития с дейтерием. В таком случае в результате реакции выделится примерно $1,4 \cdot 10^{27}$ нейтронов. Допустим далее, что все нейтроны полностью и без потери энергии проходят через корпус бомбы, если ядерная реакция развивалась внутри бомбы, и разлетаются в окружающем пространстве. Подсчеты показывают, что на расстоянии 5 км от места взрыва указанного заряда поток нейтронов составит $1,7 \cdot 10^{9} \frac{\text{нейтрон}}{\text{см}^2}$. Если принять, что эти нейтроны будут иметь энергию не менее 3 Мэв, то дозе в 1 бэр соответствует поток нейтронов, равный $1,4 \cdot 10^{7} \frac{\text{нейтрон}}{\text{см}^2}$. Таким образом, доза нейтронов получается равной 120 бэр. Установлено, что при облучении всего тела дозой 100—200 бэр могут иметь место легкие поражения, неопасные для жизни человека. Таким образом, дальность поражения проникающей радиацией людей, находящихся вне укрытий, будет около 5 км. В действительности это расстояние будет значительно меньше, так как нейтронный поток будет ослаблен корпусом и другими конструктивными элементами бомбы, будет наблюдаться также более сильное ослабление потока нейтронов в воздухе. В так называемой водородно-урановой бомбе большая часть энергии взрыва выделяется в результате реакции деления атомных ядер в урановой оболочке. При этом точно так же, как и в атомной бомбе, образуются осколки деления, мгновенное гамма-излучение и нейтроны. Поэтому при определении дозы проникающей радиации водородно-урановую бомбу можно рассматривать как атомную и пользоваться теми приемами, которые были изложены выше.

4. Расчет толщины защитных преград

Ослабление дозы гамма-излучения. Расчет ослабления доз гамма-излучения различными защитными преградами можно выполнить по формулам, приведенным в главе IV. Однако точный расчет ослабления гамма-излучения по этим формулам представляет большие трудности. Это обусловлено тем, что гамма-кванты, испускаемые осколками деления, имеют самые различные энергии. Проходя в воздухе некоторое расстояние до

данной точки на поверхности земли, они взаимодействуют с атомами воздуха. Поэтому энергетический спектр гамма-излучения, приходящего к поверхности преграды, становится еще более сложным и теоретическое определение коэффициентов ослабления и накопления, зависящих от энергии квантов, оказывается весьма затруднительным.

Расчет степени ослабления дозы гамма-излучения какой-либо преградой достаточно точно может быть произведен на основе опытных данных, полученных при испытаниях ядерного оружия. В процессе таких экспериментов величина слоя половинного ослабления d определяется для широкого пучка гамма-лучей, и поэтому нет необходимости вводить поправку на рассеянное излучение. В таком случае формула для расчета ослабления дозы гамма-излучения получит следующий вид:

$$Д = Д_0 2^{-h/d},$$

откуда степень ослабления равна

$$K = \frac{Д_0}{Д} = 2^{h/d},$$

где $Д_0$ — величина дозы перед защитной преградой, толщина которой равна h;

$Д$ — величина дозы за преградой.

Известно, что для грунта $d = 14$ см, для свинца — 1,8 см, для бетона — 10 см, стали — 2,8 см и т. д.

На рис. 75 указана толщина различных материалов, обеспечивающая уменьшение доз гамма-излучения в два, четыре, восемь и шестнадцать раз.

Приближенно можно считать, что у веществ, имеющих примерно одинаковый средний атомный номер, коэффициент ослабления прямо пропорционален плотности веществ и зависит от энергии гамма-квантов. Для гамма-квантов данной энергии коэффициент ослабления зависит только от плотности вещества. В этом случае для одинакового ослабления гамма-излучения потребуются равные весовые количества различных материалов.

В табл. 23 указана плотность некоторых материалов, используемых для защиты от проникающих излучений.

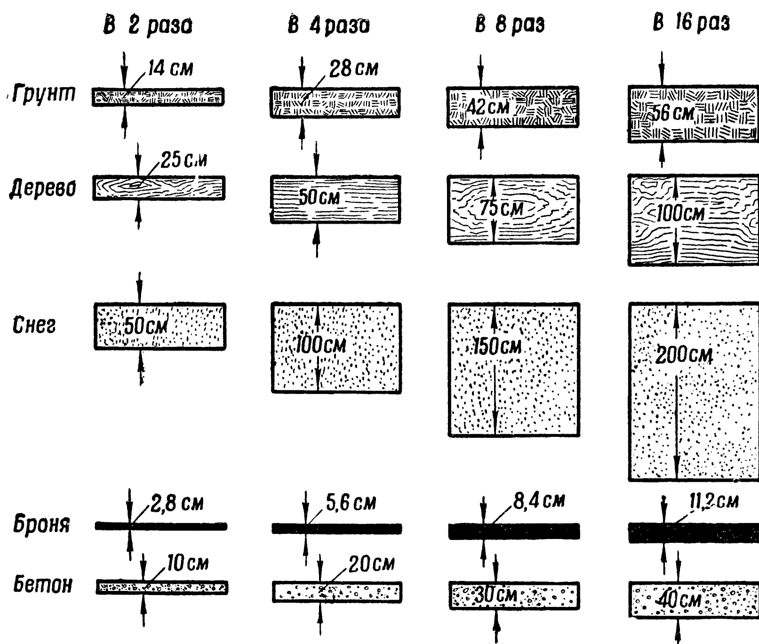


Рис. 75. Ослабление гамма-излучения проникающей радиации различными материалами

Таблица 23

Плотность некоторых материалов, применяемых в защитных конструкциях

Материал	Плотность, г/см³
Свинец	11,3
Вода	1,0
Сталь	7,6—7,9
Алюминий	2,7
Дерево:	
береза сухая	0,5—0,8
береза сырая	0,8—1,1
Бетон	1,8—2,5
Кирпич обыкновенный	1,4—1,6
Земля	1,3—2,0

В зависимости от влажности и состава плотность дерева и земли может изменяться в полтора — два раза, следовательно, также может изменяться и их способность к ослаблению гамма-излучения.

Найдем слой половинного ослабления, скажем, для дерева, зная, что для грунта он равен 14 см. Средняя плотность дерева 0,9 г/см^3, грунта — 1,6 г/см^3. Во сколько раз плотность дерева меньше плотности грунта, во столько же раз будет больше его слой половинного ослабления.

Поэтому решение имеет очень простой вид:

$$d = \frac{1,6 \cdot 14}{0,9} = 25 \text{ см.}$$

Таким же образом можно найти слой половинного ослабления для любых материалов.

Теперь поставим перед собой другую задачу. Как определить толщину слоя из заданного материала, необходимого для уменьшения дозы гамма-излучения в несколько раз?

Пусть, например, требуется определить толщину грунтового перекрытия траншеи, необходимого для уменьшения дозы в 50 раз.

Для решения воспользуемся уже известной нам формулой

$$K = 2^{h/d}.$$

В данном примере $K = 50$, $d = 14$ см, h требуется определить.

Задача решается с применением операций логарифмирования:

$$\lg K = \frac{h}{d} \lg 2,$$

откуда

$$h = d \frac{\lg K}{\lg 2}.$$

$$\lg 50 = 1,7;$$

$$\lg 2 = 0,3;$$

$$h = 14 \frac{1,7}{0,3} = 80 \text{ см.}$$

Может быть также поставлена несколько иная задача. Требуется проверить готовое сооружение на ослабление проникающей радиации.

Допустим, что мы имеем подвальное помещение с толщиной перекрытия 0,8 м бетона. Во сколько раз этот слой бетона уменьшает дозу радиации?

В этой задаче $h = 80$ см, $d = 10$ см, требуется найти K.

Решение. Находим количество слоев половинного ослабления в слое толщиной 0,8 м.

$$\frac{h}{d} = \frac{80}{10} = 8.$$

Далее определяем степень ослабления

$$K = 2^8 = 256.$$

Таким образом, слой бетона толщиной 80 см уменьшает дозу гамма-излучения в 256 раз.

При выполнении указанных расчетов мы всюду принимали одни и те же значения слоя половинного ослабления, найденные для наиболее неблагоприятных условий. Иначе говоря, мы считали, что гамма-лучи, приходящие на поверхность земли на различных расстояниях от места взрыва, имеют приблизительно одну и ту же энергию. В действительности это не так. С увеличением расстояния от места взрыва изменяется и энергетический спектр гамма-излучения. Спектр γ-излучения изменяется также и при прохождении его через защитную преграду. Если энергия гамма-квантов станет меньше, то и ослабление их преградой будет происходить успешнее; для ослабления дозы в два раза потребуется слой меньшей толщины.

Так, для бетона слой половинного ослабления в некоторых случаях может быть равен 7—8 см. Поэтому бетонная стена толщиной 50 см может обеспечить уменьшение дозы гамма-излучения в 32 раза, если $d = 10$ см, и в 75 раз, если $d = 8$ см.

Таким образом, в ряде случаев рассчитанная степень ослабления дозы будет меньше той, что получается в действительности, иначе говоря, толщина защитной преграды будет рассчитана с запасом в сторону более надежного ослабления.

Если защитная преграда состоит из нескольких слоев различных материалов, например грунта и бетона, грунта и дерева и т. д., то следует подсчитать степень ослабления для каждого слоя в отдельности и результаты перемножить.

Ослабление нейтронного потока. Ослабление нейтронного потока при прохождении через какую-либо среду зависит от энергии нейтронов и от химического состава этой среды. Быстрые нейтроны, как известно, почти всеми веществами поглощаются очень плохо, поэтому надо сначала уменьшить скорость их движения, а затем уже принять меры, обеспечивающие их полное поглощение.

Хорошим замедлителем нейтронов является вода. Замедленные нейтроны успешно захватываются ядрами водорода. Однако при этом испускаются гамма-лучи большой энергии, для ослабления которых слой воды должен быть достаточно большим. Если к воде добавить небольшое количество бора, например в виде борной кислоты, то медленные нейтроны будут поглощаться в основном бором.

Для защиты от нейтронов и гамма-излучения при работе с ядерными реакторами широко используется бетон. В состав бетона входит водород и другие сравнительно легкие элементы (кислород, алюминий, кремний, кальций). При прохождении нейтронов через бетон происходит их замедление и поглощение. Гамма-излучение также хорошо ослабляется веществами, входящими в состав бетона.

Для ориентировочного расчета ослабления дозы нейтронов можно использовать формулу уже известного нам вида.

$$Д_н = Д_{н0} 2^{-h/d_н},$$

где $Д_{н0}$ — доза нейтронов перед преградой, толщина которой h;

$Д_н$ — доза нейтронов за преградой;

$d_н$ — слой половинного ослабления нейтронов.

Величина $d_н$ зависит сложным образом от энергии нейтронов и обычно определяется экспериментально.

Для нейтронов со средней энергией 2 Мэв длина пробега в воде равна около 4 см, а слой половинного ослабления составляет приблизительно 3 см. Интересно заметить, что в отношении ослабления нейтронной радиации

железо ведет себя примерно так же, как вода, — для него слой половинного ослабления немного более 4 см.

Исследования, проведенные с нейтронными потоками ядерных реакторов, показывают, что для ослабления потока нейтронов в два раза необходимо иметь 8—10 см обыкновенного бетона.

Вследствие большой проникающей способности гамма-лучей и нейтронов обычная одежда и индивидуальные средства противохимической защиты не могут предохранить человека от их воздействия.

Защита от проникающей радиации. Для защиты от проникающей радиации необходимо использовать естественные укрытия: складки местности и местные предметы, а также искусственные сооружения — различные фортификационные укрытия, в том числе и такие простейшие, как окопы и щели.

Закрытые сооружения, защищающие от воздействия ударной волны, как правило, защищают и от проникающей радиации. Гамма-лучи и нейтроны, проходя через слой грунта и перекрытие сооружения, будут ослабляться тем сильнее, чем больше толщина и плотность защитного слоя. В перекрытых щелях, траншеях и ровиках проникающая радиация снижается в 25—30 раз. Блиндажи и убежища, представляющие собой более надежные укрытия для личного состава, имеют грунтовую толщу над покрытием не менее одного метра. В блиндажах доза проникающей радиации при атомном взрыве приблизительно в 200—300 раз меньше, чем на поверхности земли, а в убежищах легкого типа — более чем в 2000 раз.

Открытые траншеи, щели и ровики уменьшают дозу проникающей радиации при воздушном атомном взрыве в 10—20 раз. Если на поверхности земли доза гамма-излучения составляет, например, 500 рентгенов, то в верхней половине траншеи она будет примерно 200 рентгенов, а на дне траншеи уменьшается до 50 рентгенов. В данном случае как гамма-лучи, так и нейтроны сильно поглощаются крутостями траншеи. Однако некоторое количество гамма-квантов и нейтронов вследствие рассеяния в воздухе попадает в траншею сверху, где нет защитной преграды.

На рис. 76 показано, что доза проникающей радиации в траншее определяется в основном излучением, рассеянным в атмосфере.

Рассеянное излучение проникает и в так называемые полуоткрытые сооружения, имеющие различного рода амбразуры. Пучок гамма-лучей или нейтронов, попадая в укрытие через отверстия, дополнительно рассеивается на внутренней поверхности стенки. Это рассеянное (отраженное) излучение в некоторых случаях может вызвать поражение в местах, не лежащих на пути входного пучка квантов и нейтронов.

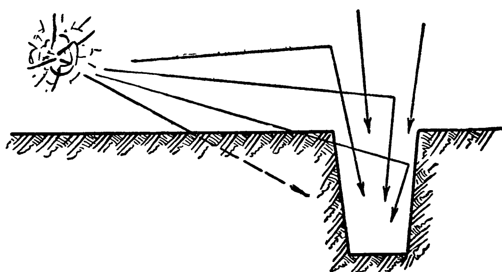


Рис. 76. Схема действия проникающей радиации на объект, расположенный в траншее

Величина дозы в полуоткрытом сооружении будет зависеть не только от мощности взрыва и расстояния до него, но также от расположения амбразуры относительно центра взрыва и от ее размеров.

Хорошую защиту от проникающей радиации обеспечивают танки. Броня среднего танка ослабляет дозу радиации в 10—15 раз. Но следует иметь в виду, что броня защищает от нейтронов значительно хуже, чем от гамма-лучей. Кроме того, в элементах, входящих в состав брони, возможно образование радиоактивных изотопов.

5. Поражающее действие проникающей радиации

Лучевая болезнь. Нарушения, происходящие в организме при воздействии ядерных излучений, могут привести к особой форме заболевания — лучевой болезни. Сущность нарушения физиологических процессов, протекающих при этом в организме, пока еще не совсем ясна. Установлено, что лучевая болезнь протекает тем тяжелее, чем больше полученная доза радиации. Иссле-

дования на животных и практика работы с рентгеновскими лучами показывают, что весьма большое значение имеет вопрос о том, как будет получена доза: в течение длительного времени или кратковременно, будет ли она воспринята всем организмом или каким-либо одним органом. Оказывается, что при одноразовом общем облучении в течение непродолжительного времени человек без всяких последствий переносит дозу в 50 рентгенов. Ткани организма способны к самовосстановлению, если они повреждены не очень сильно. Поэтому в определенных пределах доз облучение небольшими порциями в течение длительного времени будет более безвредным, чем кратковременное облучение такой же суммарной дозой. Так, при облучении морских свинок ежедневно (в течение восьми часов) по 4,4 рентгена требуется 2900 рентгенов, чтобы вызвать такую же смертность, какая наблюдалась при однократном воздействии дозой 300 рентгенов.

При общем облучении человека дозами от 50 до 100 рентгенов наблюдаются первые признаки лучевой болезни без потери трудоспособности. Более высокие дозы радиации могут вызвать лучевую болезнь. У разных людей одна и та же доза может вызвать развитие лучевой болезни различной тяжести в зависимости от сопротивляемости организма и общего состояния здоровья.

Общей закономерностью для лучевой болезни является обратная зависимость сроков ее развития от дозы облучения: чем больше доза, тем короче периоды развития болезни.

Как же протекает лучевое заболевание?

Непосредственно после воздействия больших доз радиации обычно развивается так называемая фаза первичной реакции, которая продолжается от нескольких часов до нескольких суток и выражается в явлениях общей слабости, желудочно-кишечных расстройствах, потере аппетита. Происходят также изменения в составе крови. Затем наступает так называемый скрытый период, или период мнимого выздоровления. Общее состояние больного улучшается, внешних признаков заболевания не наблюдается. Однако и в этой фазе лучевой болезни происходит уменьшение числа лейкоцитов и тромбоцитов в крови. Период скрытого действия (инкубационный период) продолжается от нескольких дней до двух —

трех недель. Чем больше доза радиации, тем короче этот период. Далее следует третья фаза развития лучевой болезни. У больного пропадает аппетит, усиливаются желудочно-кишечные расстройства, наблюдаются выпадение волос, кровотечения и кровоизлияния (в коже,

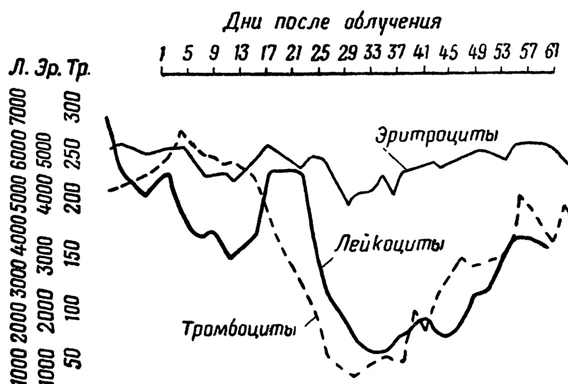


Рис. 77. Изменение количества лейкоцитов, эритроцитов и тромбоцитов у человека, подвергшегося воздействию гамма-лучей в дозе 300 рентгенов

Слева приведены три шкалы: числа на шкале *Л* показывают содержание лейкоцитов в 1 куб мм., на шкале *Эр* количество тысяч эритроцитов в 1 куб. мм. и на шкале *Тр* — количество тысяч тромбоцитов в 1 куб. мм. крови

в полости рта и др.), резко уменьшается число лейкоцитов. Уменьшение числа лейкоцитов снижает способность организма противостоять различным заболеваниям.

По этой причине основным осложнением лучевой болезни бывают инфекционные заболевания, в частности ангины. При сравнительно слабых лучевых воздействиях существенно не столько собственно лучевое поражение, сколько общее снижение сопротивляемости организма, которое подчас проявляется в случайных простудных, кишечных и тому подобных заболеваниях.

Наглядное представление об изменении в крови содержания лейкоцитов, эритроцитов и тромбоцитов после облучения дают кривые на рис. 77.

Как уже указывалось, в результате уменьшения количества лейкоцитов (белых кровяных телец) снижается

сопротивляемость организма к инфекции. Из-за недостатка эритроцитов (красных кровяных телец) страдает снабжение тканей кислородом, а вследствие снижения количества тромбоцитов (кровяных пластинок) ухудшается процесс свертывания крови и, следовательно, увеличивается опасность кровотечения.

По прошествии третьего периода наступает четвертый — период выздоровления. Происходит постепенное сглаживание признаков лучевой болезни в последовательности, зависящей от индивидуальных особенностей организма.

Различают три степени лучевой болезни: легкую, среднюю и тяжелую.

Лучевая болезнь легкой степени возникает при общей дозе облучения в 100—200 рентгенов и протекает без типично выраженных симптомов. Скрытый период заболевания может длиться от двух до трех недель. Затем появляется общая слабость, тошнота, головокружение, в крови уменьшается содержание белых кровяных шариков. Лучевая болезнь легкой степени оканчивается выздоровлением.

Доза радиации 200—300 рентгенов может вызвать **лучевую болезнь средней степени.** В этом случае заболевание характеризуется теми же признаками, что и лучевая болезнь легкой степени, но выраженными в более яркой форме. Выздоровление при эффективном лечении наступает через полтора — два месяца.

Лучевая болезнь тяжелой степени развивается при дозе облучения свыше 300 рентгенов. Протекает она более интенсивно, скрытый период заболевания сокращается. При своевременном лечении болезнь переходит в фазу выздоровления, которое наступает через несколько месяцев.

При облучении в дозе 400—450 рентгенов могут быть смертельные исходы в 50% случаев заболевания. Такую дозу часто называют летальной. Соответственно этому радиус зоны, где может быть летальное облучение проникающей радиацией, называют летальным радиусом.

Принято считать, что общее облучение в дозе 550—600 рентгенов смертельно во всех случаях.

Особенностью действия ядерных излучений на человека является относительная медленность развития изменений в организме. При очень больших дозах ра-

диации возможна так называемая смерть под лучом, наступающая в момент самого облучения. У животных смерть под лучом наблюдается лишь при облучении дозой порядка 100 тыс. рентгенов и выше, через 30—50 мин. после начала облучения при мощности дозы 30 тыс. рентген/час.

При взрывах атомных бомб в 1945 г. над японскими городами Хиросима и Нагасаки количество смертельных случаев поражения людей проникающей радиацией составило 5—15% от общего числа пострадавших. Такое поражающее действие радиации на незащищенных людей отмечалось на расстояниях до 800 м от эпицентра взрыва. На расстоянии до 1200 м число случаев, опасных для жизни, доходило до 50%, а на расстоянии более 2000 м опасных случаев поражения проникающей радиацией не наблюдалось.

В результате практически одновременного воздействия проникающей радиации, ударной волны и светового излучения в большинстве случаев поражение получалось комбинированным, выделить влияние того или иного фактора на ход заболевания часто было невозможно.

О поражающем действии гамма-излучения и нейтронов можно получить представление также по тем несчастным случаям, которые произошли в результате несоблюдения правил техники безопасности. В частности, в последнее время в иностранной печати сообщалось о двух таких случаях, происшедших в Институте ядерной физики в Югославии (октябрь 1958 г.) и в Лос-Аламосской научной лаборатории в США (декабрь 1958 г.).

В югославском Институте ядерной физики проводились экспериментальные работы на реакторе. В результате внезапно начавшейся неконтролируемой цепной реакции сотрудники, находившиеся близ реактора, подверглись сильному кратковременному облучению нейтронами и гамма-лучами. Измерения и соответствующие расчеты показали, что полученная пострадавшими средняя доза облучения всего организма составляла примерно 680 бэр[1]. Из этой дозы 43% приходилось на долю

[1] Поскольку пострадавшие находились на разных расстояниях от центра реактора, то одни из них получили дозу более указанной, а другие — менее. Приведенное значение дозы облучения является средним.

гамма-лучей, и остальная часть дозы была создана нейтронами.

В Лос-Аламосской научной лаборатории несчастный случай произошел в цехе, где производились очистка и обогащение отходов, оставшихся после извлечения плутония. В баке, куда сливали отходы, неожиданно образовалась надкритическая масса и началась реакция деления. Иностранная печать сообщала, что один из сотрудников получил дозу 12 тыс. бэр и скончался через 36 часов, у двух человек, получивших дозу 134 и 53 бэр, наблюдались признаки лучевой болезни.

В отечественной литературе описаны два случая острой лучевой болезни, когда пострадавшие получили дозы в 300 и 450 рентгенов. Острое лучевое заболевание развилось в результате кратковременного общего внешнего облучения гамма-лучами и нейтронами при нарушении правил эксплуатации экспериментального реактора.

О ходе болезни врачи, лечившие пострадавших, подробно рассказали на первой Международной конференции по мирному использованию атомной энергии[1].

В настоящее время разрабатываются эффективные способы лечения лучевой болезни. Обязательным условием лечения при тяжелом заболевании должна быть госпитализация больного. В госпитале имеется больше возможностей для осуществления всего комплекса лечебных мероприятий.

Распространенным лечебно-профилактическим мероприятием является применение антибиотиков (пенициллина, стрептомицина, ауреомицина и др.). Введение антибиотиков как бы компенсирует снижение сопротивляемости организма к инфекции и является широко рекомендуемым средством борьбы с последствиями лучевой болезни. Для восстановления нормального состава крови рекомендуется применять витамин B_{12}, а для борьбы с кровоточивостью и для восстановления обмена веществ — витамин Р и С и препараты кальция. Особое значение для заболевшего имеет диета. Пища должна быть высококалорийной, легко усвояемой, богатой бел-

[1] А. К. Гуськова и Г. Д. Байсоголов. «Два случая острой лучевой болезни у человека». (Доклады советской делегации на Международной конференции по мирному использованию атомной энергии. Женева, 1955 г.) Издательство Академии наук СССР, Москва, 1955.

ком и витаминами. Рекомендуется обильное питье и применение моче- и потогонных средств, ускоряющих выведение из организма радиоактивных веществ. В необходимых случаях может быть применено переливание крови, вливание растворов глюкозы с витаминами В и С. Таков далеко не полный (но непрерывно пополняющийся) перечень некоторых средств и способов, применяемых для лечения лучевой болезни.

Радиусы зон поражения. Установлено, что при ядерных взрывах средней и большой мощности ударная волна и световое излучение оказывают вредное воздействие на более значительных расстояниях от места взрыва по сравнению с действием проникающей радиации. Однако когда мощность взрыва относительно невелика, например 1000 т или менее, проникающая радиация обладает наибольшим радиусом поражающего действия.

Действие проникающей радиации на материалы и оборудование. Большие дозы проникающей радиации (в тысячи и десятки тысяч рентгенов) вызывают потемнение стекол оптических приборов (прицелов, биноклей, дальномеров, панорам и др.). Следовательно, оптические приборы необходимо предохранять не только от механических повреждений ударной волной, но и от воздействия проникающей радиации. Действие проникающей радиации на фотопленку обнаруживается на значительных расстояниях, так как для засвечивания некоторых сортов пленки достаточна доза радиации в два — три рентгена.

О воздействии ядерных излучений на фотопленку было рассказано выше (см. фотографический метод измерения доз гамма-излучения); здесь мы вкратце поясним, почему происходит потемнение оптики под действием проникающей радиации.

Еще Пьер Кюри и Мария Склодовская-Кюри на основании своих исследований отмечали, что в присутствии радиоактивных веществ окрашиваются в фиолетовый или коричневый цвет все виды стекла, фарфора и фаянса. В дальнейшем было установлено, что изменение окраски связано с изменением внутреннего строения и химического состава вещества.

Изменение оптических свойств стекла, являющегося аморфным (некристаллическим) веществом, происходит

в основном в результате окислительно-восстановительных процессов, которые имеют место при обмене электронами между различными ионами. Происходящая под действием излучения ионизация атомов элемента приводит к изменению его валентности, поэтому в веществе могут возникнуть новые молекулы. Например, в молекуле окиси железа Fe_2O_3 атом железа трехвалентный (Fe^{+++}); в результате ионизации он может стать двухвалентным (Fe^{++}) и образовать с кислородом молекулу закиси железа FeO. Наряду с этим может происходить и обратная реакция — окисление ионов Fe^{++} в ионы Fe^{+++}. Такого рода реакции могут происходить и в других окислах, например в окиси кремния SiO_2.

При облучении нейтронами во многих веществах образуются радиоактивные атомы, иногда появляются атомы новых химических элементов. Это также приводит к изменению не только оптических, но и других физических свойств стекла.

Заметное потемнение оптики происходит в том случае, когда нарушений в структуре и в составе вещества достаточно много, а для этого необходимо, как уже указывалось, воздействие очень больших доз проникающей радиации.

На боевую технику, различные приборы и оборудование проникающая радиация вредного действия практически не оказывает. Повреждения материалов и оборудования становятся заметными лишь при воздействии очень больших потоков нейтронов или гамма-лучей (порядка 10^{15}—10^{20} нейтронов или квантов на 1 $см^2$).

Такое воздействие радиации возможно на столь малых расстояниях от центра взрыва, где все объекты полностью уничтожаются ударной волной и световым излучением.

Чтобы повысить защитные свойства траншей и ходов сообщения, глубину их следует доводить до 1,5—1,8 м, а сверху устраивать покрытия. Покрытия делаются из жердей, накатника, бревен, уложенных вплотную друг к другу поперек траншеи или щели прямо на грунт и засыпанных сверху слоем земли толщиной до 50 см. В слабых грунтах стенки траншей укрепляются одеждой крутостей из досок, горбылей, жердей, хвороста или камыша. В

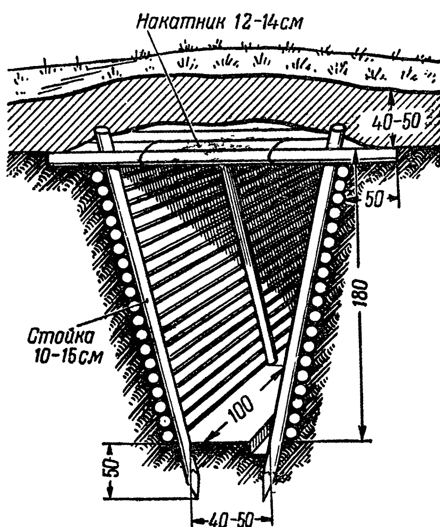


Рис. 88. Перекрытая траншея с одеждой крутостей

траншеях устраиваются брустверы и тыльные траверсы. Начертание траншей и ходов сообщения в плане должно быть не прямолинейным, а зигзагообразным, но без острых углов.

При ядерном взрыве возможно возгорание материалов, из которых возводятся инженерные сооружения. Поэтому одежду крутостей траншей и ходов сообщения, а также других укрытий необходимо летом обмазывать грунтом или глиной, а зимой — известью. Через каждые 20—30 м в одежде крутостей делаются противопожарные разрывы шириной до 2 м. Перекрытая траншея с одеждой крутостей показана на рис. 88.

В открытых участках траншей устраиваются ячейки для наблюдателей, площадки для пулеметов, ниши для боеприпасов, продовольствия, воды.

Около огневых позиций пулеметчиков зачастую устраиваются подбрустверные ниши (рис. 89) или подбрустверные блиндажи. В слабых грунтах стенки ниш крепятся жердями, досками, горбылями. Вход в нишу прикрывается щитом из жердей.

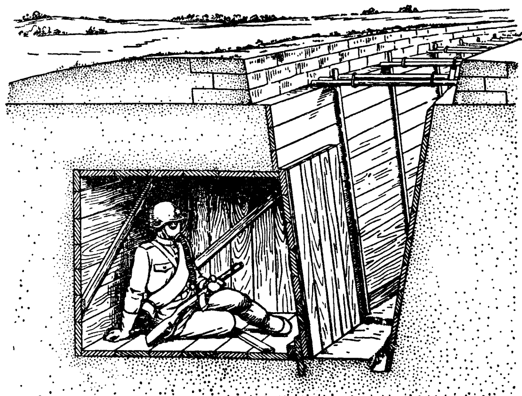


Рис. 89. Подбрустверная ниша

Наиболее надежными укрытиями для личного состава являются убежища (рис. 90). Они могут быть легкого и тяжелого типа и сооружаются из дерева и железобетона. В отдельных случаях убежища могут устраиваться с применением волнистой (гофрированной) стали.

Тяжелые убежища защищают личный состав от поражения ядерным оружием даже в том случае, когда они находятся в районе эпицентра воздушного взрыва. Такими защитными свойствами они обладают потому, что имеют прочную конструкцию, способную выдерживать большие нагрузки. Защита от проникающей радиации и светового излучения, как и от артиллерийских снарядов и бомб, достигается наличием прочного перекрытия и значительного по толщине слоя земли.

Работы по созданию убежищ выполняются с широким использованием средств механизации, заранее подготовленных элементов и конструкций. В убежищах люди

находятся без индивидуальных средств защиты, так как убежища имеют фильтро-вентиляционные устройства. Воздухозаборные отверстия оборудуются специальными противовзрывными клапанами, что исключает затекание ударной волны внутрь убежища. В крайнем случае выхлопные, всасывающие и другие отверстия оборудуются герметическими заслонками, которые перекрываются вручную.

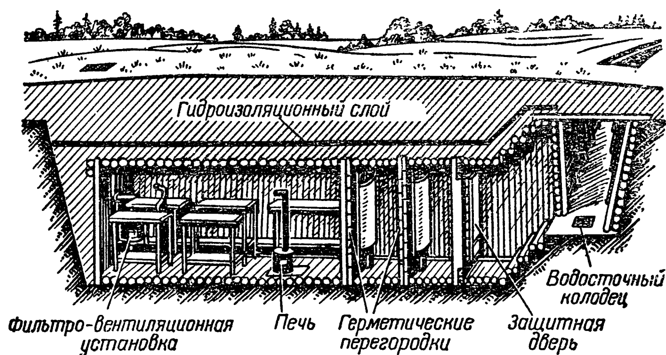


Рис. 90. Убежище легкого типа

Убежища имеют два выхода: основной — с тамбуром и защитной дверью и защитно-герметическими перегородками и запасный — в виде шахтного лаза. Герметизация входа в убежище нужна для того, чтобы не допустить попадания радиоактивных веществ внутрь убежища.

Коллективные средства противоатомной защиты резко уменьшают радиус поражения ядерным оружием. Чем прочнее сооружение, тем надежнее предохраняет оно от ядерного взрыва. Простейшие инженерные сооружения уменьшают радиус поражения в полтора — два раза, более прочные — в три раза и более.

На корабле для защиты от взрыва используются надстройки, артиллерийские башни, броневые щиты. В случае если вблизи нет ни укрытия, ни складки местности, нужно лечь на землю (палубу) лицом вниз. Лежа так, можно избежать поражения ударной волной или значительно ослабить его, а также предохранить лицо от ожогов. Кисти рук надо спрятать под себя, глаза закрыть, чтобы предохранить от возможной временной потери

зрения. Находясь в танке при вспышке ядерного взрыва, нужно закрыть, как мы указывали выше, люки и жалюзи; в кабине автомобиля — опуститься ниже ветрового стекла, чтобы избежать поражения осколками стекла и световым излучением; находясь в кузове, нужно лечь на его дно, а если лечь на дно нельзя, то согнуться. В боевой рубке корабля, увидев вспышку взрыва, нужно немедленно нагнуться, чтобы избежать ожогов от светового излучения.

Радиусы поражения ядерного взрыва вообще можно значительно уменьшить, если расположить личный состав в укрытиях, причем, как показано на рис. 91, чем прочнее сооружение, тем лучше оно защищает от взрыва. Если принять, что безопасное расстояние при воздушном взрыве для незащищенного человека составляет R, то люди, находящиеся в открытых траншеях полного профиля, не будут поражены уже на удалении $^2/_3R$. Траншеи, перекрытые бревнами и засыпанные пятидесятисантиметровым слоем земли, уменьшают радиус поражения уже в два раза, а блиндажи — в три раза. Наконец, люди, находящиеся в подземных прочных сооружениях на глубине более десяти метров, не поражаются вовсе даже в том случае, если это сооружение находится в эпицентре воздушного ядерного взрыва. Очевидно, такие укрытия служат достаточной защитой от всех видов поражающего действия ядерного взрыва.

Укрытия для боевой техники, огневых средств и имущества могут быть открытого или закрытого типа. Для огневых средств — пулеметных, гранатометных, минометных, орудийных, танковых — обычно устраиваются сооружения открытого типа.

Окопы для пулеметов или орудий отрывают с узким, широким или круговым сектором обстрела (рис. 91а). Для минометов окопы делают более углубленными.

Для танков и самоходно-артиллерийских установок при расположении их на позициях оборудуются окопы, которые включают площадку для ведения огня, укрытие для танков и блиндажи для экипажей (рис. 91б).

В выжидательных районах и районах сосредоточения для танков устраиваются укрытия с блиндажами для экипажей. Для автомобилей и тракторов устраивают укрытия котлованного типа с аппарелями для въезда и с блиндажами для водителей (рис. 91а). Различное

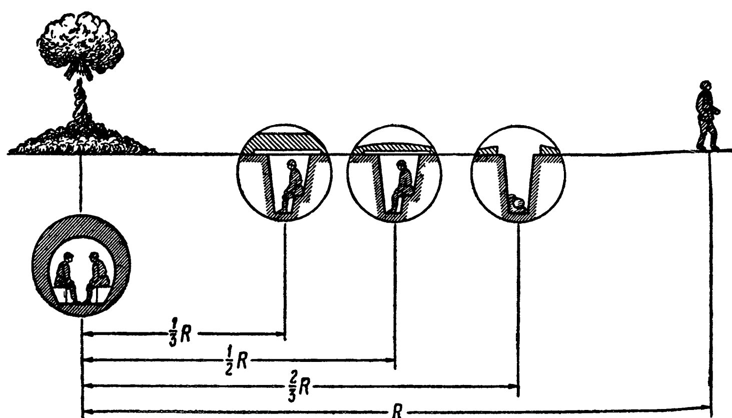


Рис. 91. Безопасные расстояния при атомном взрыве

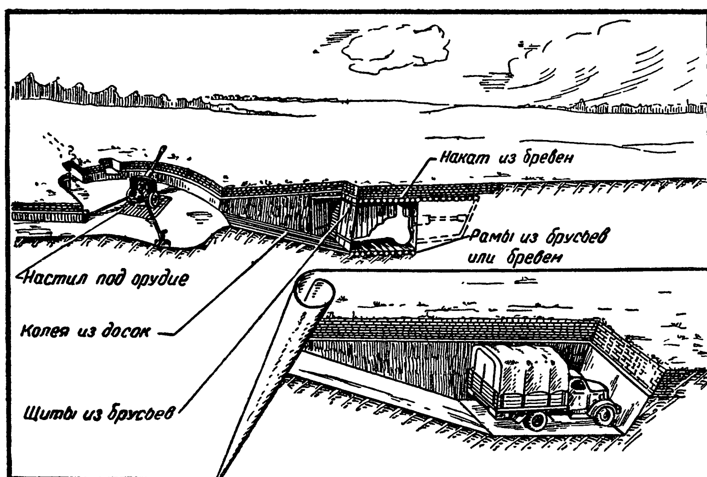


Рис. 91а. Окоп для орудия и укрытие для автомобиля, оборудованные в противоатомном отношении

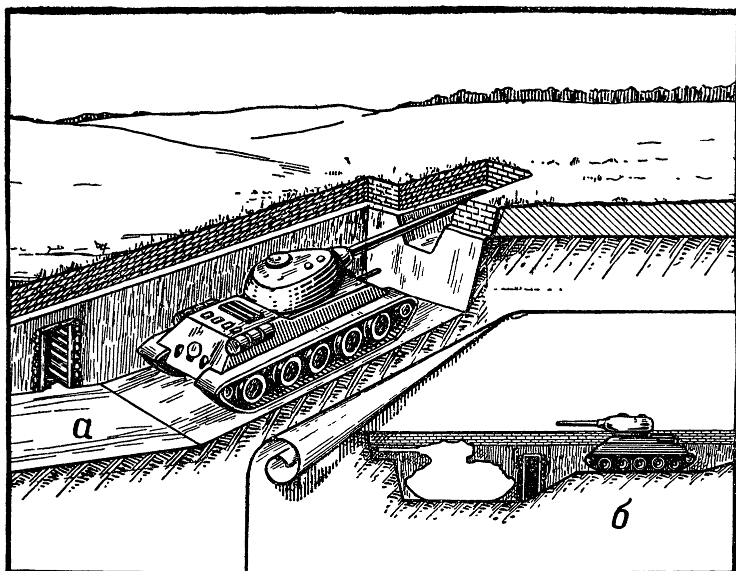


Рис. 91б. Укрытие (*а*) и оксп с укрытием (*б*) для танка (САУ). В боковой стенке виден вход в подбрустверный блиндаж для экипажа

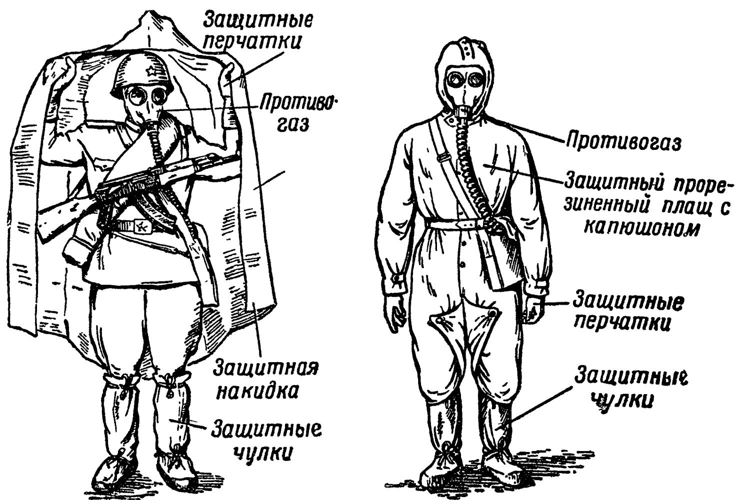


Рис. 91в. Индивидуальные средства противохимической защиты солдата (слева) и матроса (справа)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. И. А. Науменко и Г. И. Петровский. Ударная волна атомного взрыва. Воениздат, 1957

2. М. П. Архипов. Световое излучение атомного взрыва. Воениздат, 1956.

3. А. И. Иванов. Ядерные излучения атомного взрыва. Воениздат, 1957.

4. В. П. Сырнев и Н. П. Петров. Радиоактивные излучения и их измерения. Воениздат, 1956.

5. «The Effects of Atomic Weapons», New York — London, 1950.

6. «The Effects of Nuclear Weapons», Washington, 1957.

7. Противоатомная защита. Издание бюро личного состава Военно-Морского флота США. (Перевод с английского.) Воениздат, 1958.

8. Т. Сирс. Роль врача в противоатомной защите. (Перевод с английского.) Изд. иностранной литературы, 1955.

9. Ф. Рэн. Атомная проблема. Изд. иностранной литературы, 1958.

10. Д. И. Лоусон. Атомная бомба и пожары. (Перевод с английского). Изд. иностранной литературы, 1955.

11. Защита ядерных реакторов. Изд. иностранной литературы, 1958.

12. Физика ядерных реакторов. Изд. иностранной литературы, 1956.

13. К. Ружерон. Использование энергии термоядерного взрыва. Изд. иностранной литературы, 1957.

14. О. И. Лейпунский. Гамма-излучение атомного взрыва. Атомиздат, 1959.

15. Н. Г. Гусев. Справочник по радиоактивным излучениям и защите. Медгиз, 1956.

16. Ядерные взрывы. (Перевод с английского). Изд. иностранной литературы, 1958.

17. Г. В. Горшков. Гамма-излучение радиоактивных тел и элементы расчета защиты от излучения. Изд. Академии наук СССР, 1959.

18. М. Н. Побединский. Лучевая болезнь. Медгиз, 1957.

19. Журнал «Армд форенс кемикел джорнэл» I и II, 1958.

20. А. В. Лебединский. Влияние ионизирующей радиации на организм. Изд. «Знание», 1957.

21. К переговорам о прекращении испытаний ядерного оружия. (Документы).

Вкладка в № 36 журнала «Новое время» от 5 сентября 1958 г.

22. Е. К. Федоров. Влияние атомных взрывов на метеорологические процессы. Журнал «Атомная энергия» № 5, 1956

23. Метеорология и атомная энергия. (Перевод с английского). Изд. иностранной литературы, 1959.

24. Атомное оружие. (Перевод с английского). Изд. иностранной литературы, 1957.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Анатолий Иванович Иванов, Георгий Иосифович Рыбкин
ПОРАЖАЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ ЯДЕРНОГО ВЗРЫВА

Редактор *Я. М. Кадер*
Обложка художника *Е. И. Селезнева*
Технический редактор *Е. Н. Слепцова* Корректор *А. С. Мишина*

Сдано в набор 2.4.60 г. Подписано к печати 27.8.60 г.
Формат бумаги $84 \times 108^1/_{32}$ — 12 печ. л. = 19,68 усл. печ. л. 19,152 уч.-изд. л.
Г-64679.
Военное издательство Министерства обороны Союза ССР
Москва, Центр, Тверской бульвар, 18.
Изд. № 1/10029. Зак. 280.

1-я типография
Военного издательства Министерства обороны Союза ССР
Москва, К-6, проезд Скворцова-Степанова, дом 3

Цена 7 р. 25 к.
с 1.1.61 г. — 73 коп.

„НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ БИБЛИОТЕКА“

Книги массовой «Научно-популярной библиотеки» Военного издательства материалистически объясняют явления природы, знакомят с современным состоянием науки и техники по самым различным отраслям знаний, связанным с военным делом. В них популярно рассказывается, как с развитием науки и техники происходят существенные изменения в военном деле, создаются новые виды боевой техники и вооружения, меняются способы их использования в бою. Книги помогают нашим военным кадрам постоянно совершенствовать свои военные знания, овладевать новой боевой техникой, повышать бдительность и боеготовность войск. Книги написаны общедоступно и рассчитаны на широкие круги личного состава Вооруженных Сил Союза ССР, советскую молодежь и членов ДОСААФ.

ВЫШЛИ В СВЕТ В 1958 ГОДУ

1. **Е. М. Балабанов. Ядерные реакторы.** 212 стр. 3 руб. 30 коп.
2. **В. А. Михайлов. Физические основы получения атомной энергии.** 176 стр. 2 руб. 75 коп.
3. **А. П. Глушко, Л. К. Марков, Л. П. Пилюгин. Атомное оружие и противоатомная защита.** 392 стр. 5 руб. 30 коп.
4. **А. Н. Несмеянов. Радиоактивные изотопы и их применение.** 192 стр. 2 руб. 85 коп.
5. **В. Петров. Искусственный спутник Земли.** 306 стр. 5 руб. 90 коп.
6. **М. Б. Нейман, К. М. Садиленко. Термоядерное оружие.** 239 стр. 4 руб. 60 коп.
7. **Н. С. Мансуров. Наука и религия о природе.** 64 стр. 80 коп.
8. **К. Ф. Огородников. На чем Земля держится.** 40 стр. 50 коп.
9. **Б. А. Воронцов-Вельяминов. Происхождение небесных тел.** 128 стр. 1 руб. 65 коп.
10. **В. И. Громов. Из прошлого Земли.** 96 стр. 1 руб. 20 коп.
11. **В. И. Прокофьев. Возникновение религии и веры в бога.** 124 стр. 1 руб. 50 коп.
12. **П. Ф. Колоницкий. Мораль и религия.** 80 стр. 95 коп.
13. **Г. В. Платонов. Дарвинизм и религия.** 89 стр. 1 руб. 10 коп.
14. **Б. Б. Кудрявцев. О неслышимых звуках.** 144 стр. 2 руб. 35 коп.
15. **Г. А. Гурев. Научные предвидения и религиозные предрассудки.** 128 стр. 1 руб. 50 коп.

ВЫШЛИ В СВЕТ В 1959 ГОДУ

1. **Я. Г. Вараксин. Радиоэлектроника в военном деле.** 288 стр. 5 руб. 90 коп.
2. **П. Ф. Колоницкий. Марксизм-ленинизм о религии.** 124 стр. 1 руб. 50 коп.
3. **К. Л. Воропаева. Жил ли Христос?** 112 стр. 1 руб. 40 коп.
4. **Д. И. Сидоров. О христианских праздниках, постах и обрядах.** 208 стр. 2 руб. 55 коп.

5. **Ф. К. Меньшиков. Алкоголизм — враг здоровья.** 72 стр. 1 руб. 25 коп.

6. **И. А. Науменко. Атомные силовые установки.** 192 стр. 3 руб. 15 коп.

7. **А. А. Жуховицкий. Меченые атомы.** 116 стр. 1 руб. 75 коп.

8. **Ф. В. Майоров. Электронные вычислительные машины и их применение.** 240 стр. 4 руб. 70 коп.

9. Сб. статей. **Атомная энергия в авиации и ракетной технике.** 504 стр. 8 руб. 60 коп.

10. Сб. статей. **Атомная энергия и флот.** 240 стр. 4 руб. 60 коп.

11. **А. Н. Пономарев. Современная реактивная авиация.** 260 стр. 5 руб.

12. **И. В. Стрельчук. Пьянство губит человека.** 86 стр. 1 руб. 35 коп.

13. **Г. И. Покровский. Наука и техника в современных войнах.** 140 стр. 2 руб. 35 коп.

14. **В. А. Мезенцев. Религиозные суеверия и их вред.** 228 стр. 2 руб. 80 коп.

15. **А. И. Опарин. Происхождение жизни.** 129 стр. 1 руб. 60 коп.

16. **В. И. Прокофьев. Знание и вера в бога.** 159 стр. 2 руб. 40 коп.

17. **Н. А. Ильин. Наука и религия о жизни и смерти.** 64 стр. 80 коп.

18. **А. Ф. Буянов. Материалы настоящего и будущего.** 244 стр 4 руб. 75 коп.

ГОТОВЯТСЯ К ПЕЧАТИ И ПОСТУПЯТ В ПРОДАЖУ

П. Т. Асташенков. Ракетные войска — главный вид Вооруженных Сил СССР.

Б. В. Ляпунов. Ракета.

А. А. Космодемьянский. К. Э. Циолковский — его жизнь и работы по ракетной технике.

Н. П. Петров и В. П. Сырнев. Радиоактивные излучения и их измерения.

Л. А. Беликов. Бактериологическое оружие и способы защиты от него.

В. А. Бирюков. Применение брони в военном деле.

М. К. Шевчук. Зажигательные средства и способы защиты от них.

Г. Г. Громоздов и А. А. Подрудков. Как сохранить здоровье.

А. В. Воропай. Пьянство и борьба с ним.

В. Е. Рожнов. Пьянство — общественное зло.

Ф. И. Долгих. Коммунистическое воспитание и преодоление религиозных пережитков.

Л. И. Великович. С крестом и атомной бомбой.

Д. И. Сидоров. Война и религия.

Н. Н. Розенталь. Христианство, его происхождение и сущность.

Ф. И. Гаркавенко. Что такое религиозное сектантство.

В. И. Прокофьев. Две морали (мораль религиозная и мораль коммунистическая).

К ЧИТАТЕЛЯМ!

Просим присылать свои отзывы на эту книгу по адресу: Москва, Б-140, Нижняя Красносельская, 4. Военное издательство.

Цена 7 р. 25 к.

с 1.1.1961 г. — 73 коп.



Как действовать
В УСЛОВИЯХ ПРИМЕНЕНИЯ ЯДЕРНОГО, ХИМИЧЕСКОГО И БАКТЕРИОЛОГИЧЕСКОГО ОРУЖИЯ

МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ СССР

КАК ДЕЙСТВОВАТЬ В УСЛОВИЯХ ПРИМЕНЕНИЯ ЯДЕРНОГО, ХИМИЧЕСКОГО И БАКТЕРИОЛОГИЧЕСКОГО ОРУЖИЯ

ПОСОБИЕ СОЛДАТУ И МАТРОСУ

ВОЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ СССР
МОСКВА—1963

ЯДЕРНОЕ ОРУЖИЕ ИЗВЕСТНО В ВИДЕ

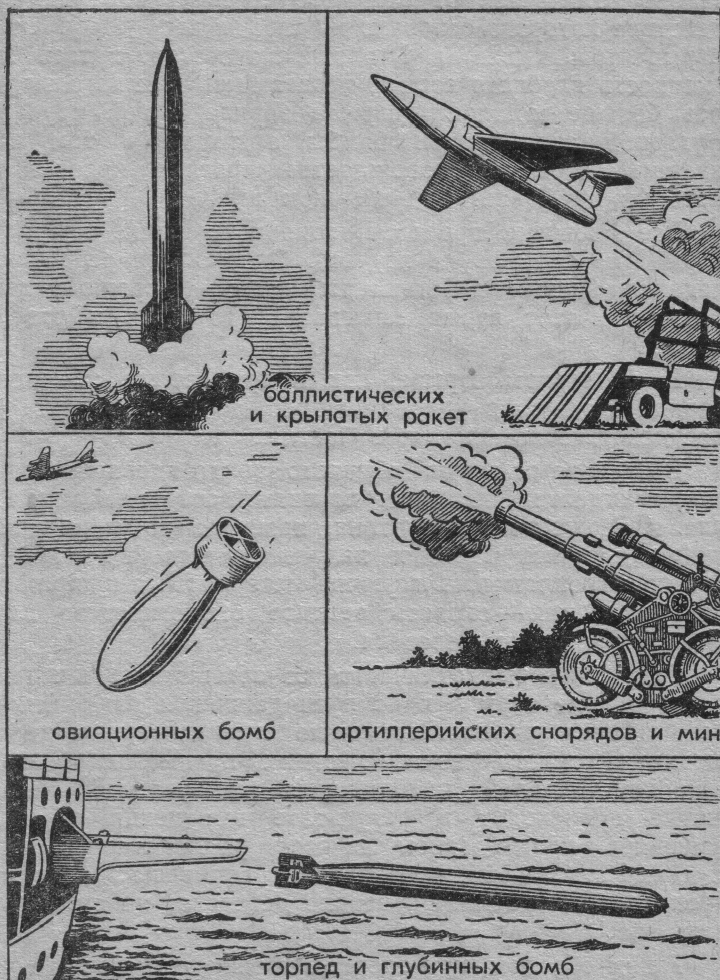


Рис. 2

ЯДЕРНЫЙ ВЗРЫВ МОЖЕТ НАНОСИТЬ ПОРАЖЕНИЯ



ударной волной



световым излучением



проникающей радиацией



радиоактивным заражением

Рис. 3

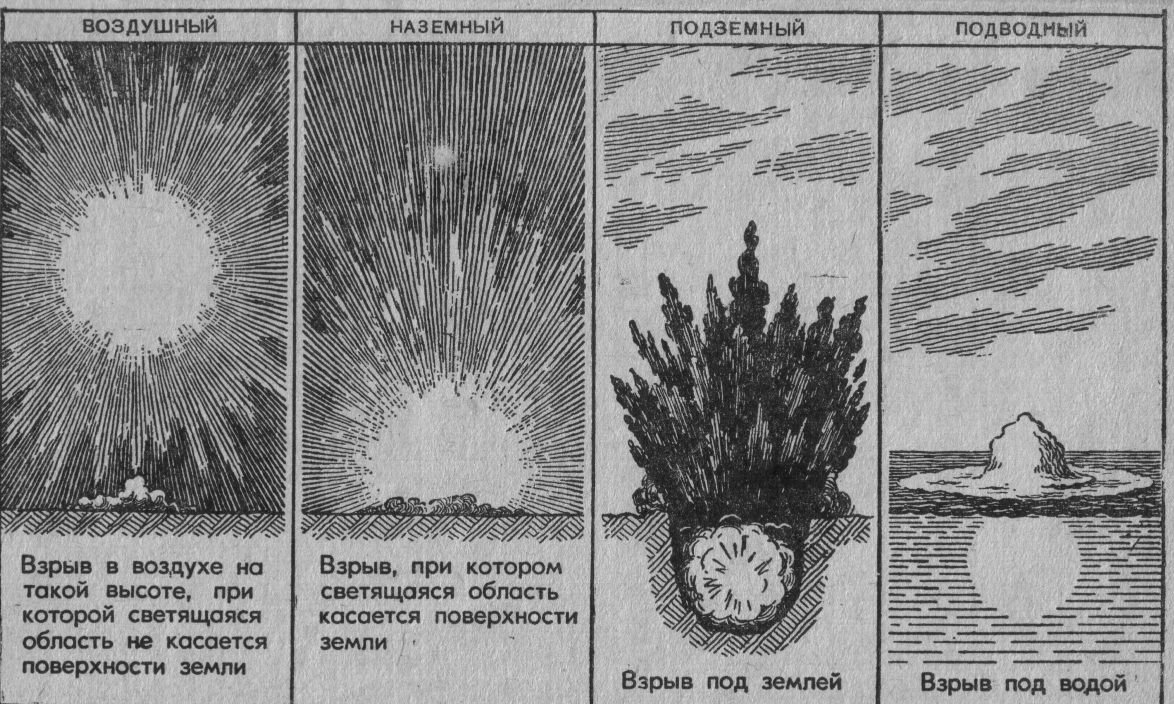

ВИДЫ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ
ВОЗДУШНЫЙ
НАЗЕМНЫЙ
ПОДЗЕМНЫЙ
ПОДВОДНЫЙ
Взрыв в воздухе на такой высоте, при которой светящаяся область не касается поверхности земли
Взрыв, при котором светящаяся область касается поверхности земли
Взрыв под землей
Взрыв под водой

Рис. 4

ПРОНИКАЮЩАЯ РАДИАЦИЯ ОСЛАБЛЯЕТСЯ



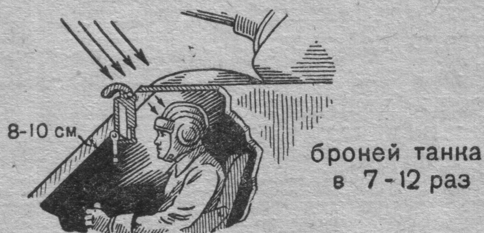




Рис. 10

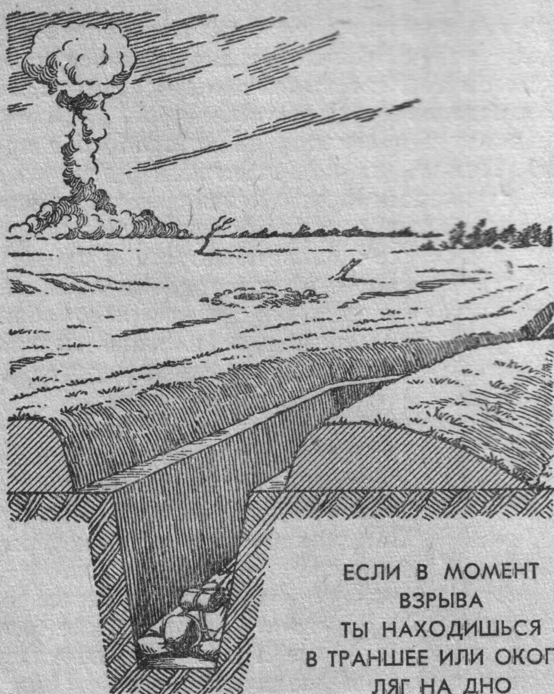


Рис. 26

к ней спиной и ляг на землю, лицом вниз, подними воротник шинели, а кисти рук спрячь под себя (рис. 27). Лежа ты в меньшей степени будешь подвержен воздействию ударной волны, а закрыв лицо, шею и руки, ты предохранишь себя от ожогов световым излучением. Во всех случаях при ядерном взрыве плотно закрой глаза, чтобы избежать ослепления и возможной потери зрения.

Для танкистов лучшей защитой в бою является танк. Его броня полностью защищает экипаж от светового излучения и значительно ослабляет воздействие ударной волны, проникающей радиации и радиоактивных веществ. По вспышке ядерного взрыва нужно быстро закрыть люки и прикрыть жалюзи. Кроме того, надо плотно прислониться к стенке корпуса или к другой части танка и держаться руками за выступающие детали; это

ЕСЛИ ЯДЕРНЫЙ ВЗРЫВ ЗАСТАЛ ТЕБЯ В ДОМЕ, ЛОЖИСЬ К ПРОСТЕНКУ



Рис. 43

Если в результате ядерного взрыва возник пожар, в первую очередь выведи в безопасное место танк, ракетную установку, бронетранспортер, автомобиль и другую технику и приведи ее в готовность для продолжения марша. В случае заражения занимаемого района вопрос о дальнейшем пребывании в нем решает командир.

При расположении на отдых в населенном пункте не ставь машину близко к легковозгораемым постройкам, стогам сена, соломы и т. п.



5 Зак. 522

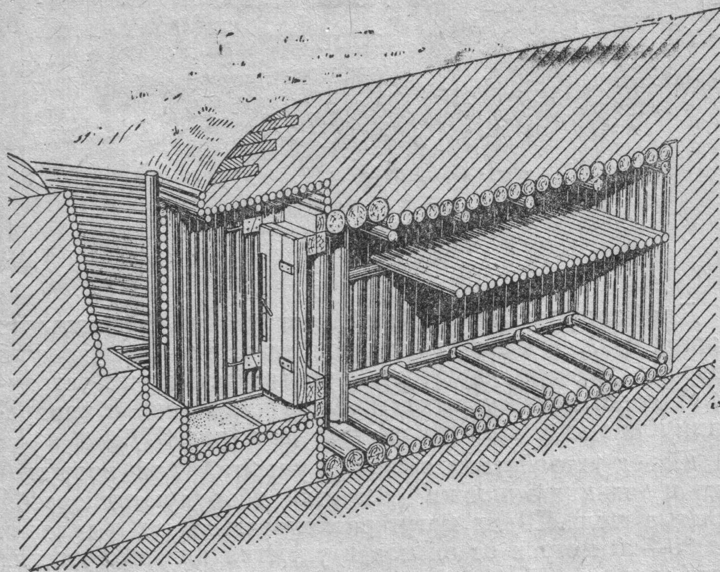


Рис. 55

робки хорошо утрамбуй. Тщательно заделай все щели, используя для этого ветошь, мох и другие подручные материалы, чтобы ударная волна, радиоактивные, отравляющие вещества и бактериальные средства не могли проникнуть внутрь сооружения.

Если есть время и материалы, укрепи крутости траншеи (хода сообщения) перед входом в блиндаж или убежище на участке длиной не менее двух метров. Это предохранит вход от заваливания при ядерном взрыве.

§ 23. СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ВООРУЖЕНИЯ И ТЕХНИКИ

Для танков, самоходно-артиллерийских установок, орудий, бронетранспортеров отрывают окопы. Они обеспечивают необходимые условия для стрельбы, защищают боевую технику от различных средств поражения. На рис. 56 для примера показан общий вид танкового окопа.

ОКОП ДЛЯ ТАНКА

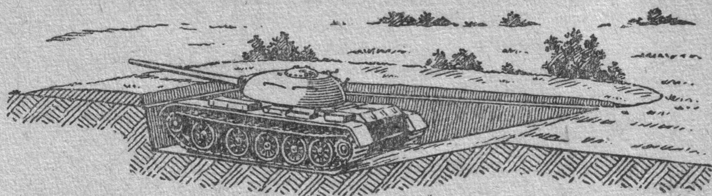


Рис. 56

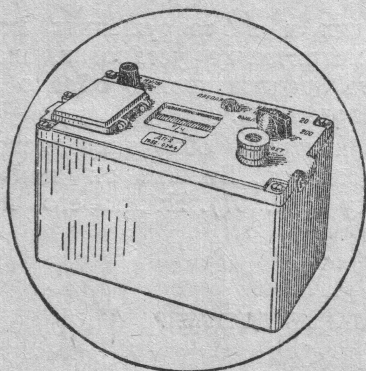
Для защиты автомобилей, тягачей и специальных машин прежде всего используют естественные укрытия (овраги, выемки, карьеры). При отсутствии их устраивают простейшие укрытия котлованного типа с аппарелями или в виде врезок в скаты высот (рис. 57).

Перед устройством окопов и укрытий для вооружения и техники экипажи (расчеты) оборудуют для себя крытые щели. Щели могут располагаться на удалении до 30—40 метров от окопов и укрытий или в крутостях этих сооружений.



Рис. 57

РЕНТГЕНМЕТР



Общий вид



Положение при измерении уровня радиации на местности

Рис. 59

РАДИОМЕТР



Общий вид



Положение при измерении

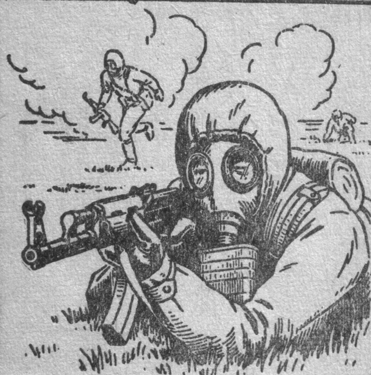
Рис. 60



При незначительном разрыве шлем-маски плотно зажми порванное место



При сильном повреждении шлем-маски дыши через соединительную трубку, а при повреждении и соединительной трубки, дыши через горловину противогазовой коробки



При разрыве или проколе соединительной трубки привинти противогазовую коробку к клапанной коробке



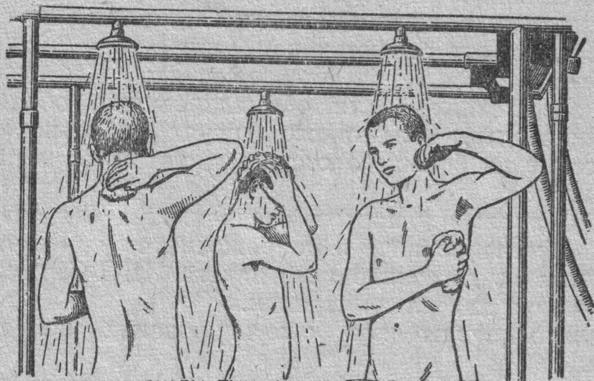
Пробоины в коробке замажь глиной, землей, хлебным мякишем или плотно закрой рукой, полой шинели

Рис. 74

§ 34. ПОЛНАЯ САНИТАРНАЯ ОБРАБОТКА

Полной санитарной обработке личный состав подвергается после того, как он обработал свое оружие, вооружение, технику, обмундирование, снаряжение и обувь.

При заражении радиоактивными и отравляющими веществами полная санитарная обработка заключается в тщательном мытье всего тела (желательно теплой водой с мылом) под душем (рис. 88) или в незараженном водоеме (рис. 89).



ПОЛНАЯ САНИТАРНАЯ ОБРАБОТКА ЗАКЛЮЧАЕТСЯ В ТЩАТЕЛЬНОМ МЫТЬЕ ВСЕГО ТЕЛА ПОД ДУШЕМ

Рис. 88



ИЛИ В НЕЗАРАЖЕННОМ ВОДОЕМЕ (РЕКЕ)

Рис. 89

ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКТ ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ

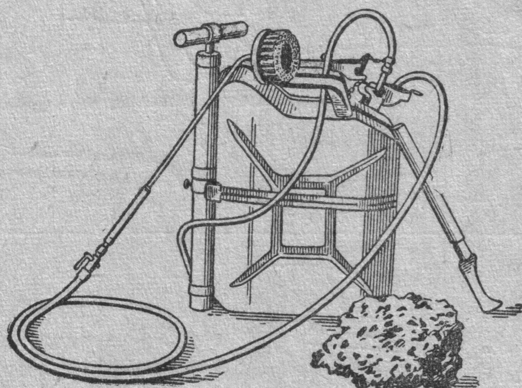


Рис. 92

ГРУППОВОЙ КОМПЛЕКТ ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ

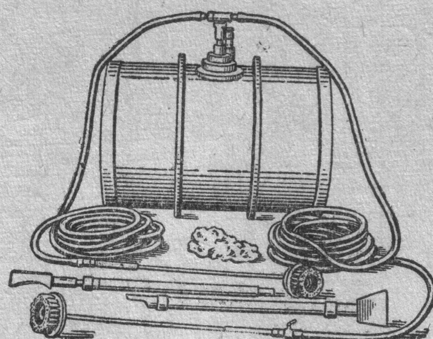


Рис. 93

ОГЛАВЛЕНИЕ



КАК ДЕЙСТВОВАТЬ В УСЛОВИЯХ ПРИМЕНЕНИЯ ЯДЕРНОГО, ХИМИЧЕСКОГО И БАКТЕРИОЛОГИЧЕСКОГО ОРУЖИЯ

Пособие солдату и матросу

М., Воениздат, 1963. 128 стр.

Под наблюдением редактора полковника *Горчакова А. Д.*
Технический редактор *Кузьмин И. Ф.*
Корректор *Перебитюк Е. В.*

Сдано в набор 2.7.62 г. Подписано к печати 11.10.62 г.
Г-86189.
Формат бумаги $84 \times 108^{1}/_{32}$ — 4 печ. л. = 6,56 усл. печ. л. 5,763 уч.-изд. л.
Изд. № 5/4904. *Продаже не подлежит* Зак. 522

Отпечатано с матриц во 2-й типографии Военного издательства
Министерства обороны СССР
Ленинград, Д-65, Дворцовая пл., 10

THE EFFECTS OF NUCLEAR WEAPONS

REVISED EDITION

April — 1962

ДЕЙСТВИЕ ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ

Перевод с английского

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ

ВОЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ СССР
Москва — 1965

Действие ядерного оружия (перевод с английского)
Издание 2-е, исправленное

Книга «Действие ядерного оружия» подготовлена к изданию в 1962 году министерством обороны США при участии ряда других американских правительственных учреждений и ведомств.

В книге изложены физические основы ядерных взрывов и дана их классификация. Подробно рассмотрены основные особенности явлений, связанных с воздушными, наземными (надводными) и подземными (подводными) ядерными взрывами и представлены некоторые сведения о высотных и глубоководных взрывах.

Большое место отведено описанию свойств каждого из поражающих факторов ядерного взрыва: ударной волны, светового излучения и всех видов ядерного излучения. Приведены данные о зависимости величины максимального избыточного давления и скоростного напора ударной волны от высоты взрыва и расстояния до его эпицентра. Рассказывается об источниках и свойствах так называемого остаточного ядерного излучения, и, в частности, излагаются принципы прогнозирования вероятных районов заражения в результате выпадения радиоактивных продуктов взрыва и показаны методы определения допустимого времени пребывания в зараженном районе.

Публикуются данные о влиянии ядерных взрывов на работу радио- и радиолокационных средств. Рассмотрены основные принципы защиты от действия ядерного оружия. Сведения о воздействии поражающих факторов ядерного взрыва на людей, боевую технику и различные сооружения уточнены данными, полученными в ходе испытаний и исследовательских работ, которые были проведены в последние годы.

Интерес представляют приводимые в книге сведения о способах обнаружения ядерных взрывов и об обеспечении безопасности при обращении с ядерными боеприпасами.

Книга иллюстрирована фотографиями, рисунками и таблицами.

Научный редактор кандидат технических наук
полковник **Дмитриев П. С.**

ВВЕДЕНИЕ

Когда книга «Действие атомного оружия» была издана в 1950 году, мощность существовавших в то время атомных бомб была эквивалентна нескольким тысячам тонн (килотонн) тротила. Поэтому описание атомных взрывов и их поражающего действия основывалось на результатах взрыва так называемой «номинальной бомбы», мощность которой была эквивалентна 20 килотоннам тротила. С развитием термоядерного (водородного) оружия, при взрыве которого выделяется энергия, равная энергии взрыва нескольких миллионов тонн (мегатонн) тротила, возникла необходимость переиздать книгу «Действие ядерного оружия» в новом варианте. Вариант этой книги, вышедший в свет в 1957 году, содержал наиболее полные имевшиеся в то время данные о действии ядерного оружия мощностью около 20 мегатонн на человека и различные материалы.

Известно, что существует возможность создания ядерного оружия мощностью свыше 20 мегатонн. Однако в настоящей книге, как и в первом ее издании, рассматривается предельная мощность в 20 мегатонн тротилового эквивалента. Вероятное действие ядерного оружия большей мощности можно оценить с помощью законов подобия. Используя их с определенными оговариваемыми ниже ограничениями, можно рассчитать предполагаемое действие ядерного взрыва любой заданной мощности.

В настоящее, переработанное издание внесены значительные изменения как по существу содержащихся сведений, так и по форме их изложения. Материал по защите от ядерных взрывов написан заново, и в нем изложены принципы, на основе которых строится эта защита. В связи с этим многочисленные сведения о действии ядерного оружия излагаются в книге в простой табличной форме, удобной для использования в качестве справочного материала. В книгу включена новая глава о действии ядерного оружия на средства радиосвязи и радиолокации, а в приложении приводятся правила безопасности при обращении с ядерным оружием и методы обнаружения ядерных взрывов на больших расстояниях.

Хотя при составлении книги было сделано все возможное, чтобы включить в нее наиболее точные сведения, следует все же учитывать наличие некоторых неизбежных погрешностей в тех местах

текста, где приводятся цифровые данные. Например, практически неизбежны некоторые неточности при измерении параметров поражающих факторов ядерного взрыва. Результаты часто зависят от условий, которые трудно, а иногда и невозможно проконтролировать даже во время испытаний, и они, безусловно, окажутся непредвиденными при ядерном нападении. Кроме того, два ядерных боеприпаса различной конструкции могут иметь одну и ту же мощность, но их действия при взрыве будут заметно отличаться друг от друга. При наличии таких особенностей в тексте сделаны оговорки как в отношении приводимых данных, так и в отношении соответствующих законов подобия.

Внешняя картина распространения ударной волны в воздухе или воде и волны сжатия в грунте, светового (теплового) и ядерного излучений, возникающих в результате ядерного взрыва, очень сложна. Поэтому описание этих явлений и их действия является в некотором отношении узким, специальным вопросом. Однако настоящая книга составлена таким образом, чтобы удовлетворить запросы наиболее широкого круга читателей. С этой целью бо́льшая часть глав книги разбита на две части. Первая часть состоит из общих положений, в которых рассматриваются определенные вопросы в менее специальном плане; во второй части рассматриваются некоторые вопросы, имеющие специальный характер. Материал книги подобран таким образом, что при пропуске какого-либо или всех узких специальных разделов последовательность изложения материала не нарушается. Авторы надеются, что такой порядок изложения, который был соблюден также в предыдущем издании, даст возможность широкому кругу читателей хорошо усвоить каждую рассматриваемую в книге проблему, не прибегая к необходимости изучения узких специальных вопросов, с которыми им, возможно, не придется сталкиваться в практической деятельности. С другой стороны, в книге имеется много специальных данных, которые могут быть использованы архитекторами, строителями, медицинскими работниками и другими специалистами, связанными в своей работе с планированием военных мероприятий.

ГЛАВА I

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВАХ

ОСОБЕННОСТИ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ

Введение

1.01. Взрыв происходит в результате весьма быстрого выделения большого количества энергии в ограниченном пространстве. Это справедливо как для обычных взрывчатых веществ, например тротила, так и для ядерного (атомного) взрыва [1], хотя выделяющаяся при этом энергия имеет совершенно другое происхождение (п. 1.10). Внезапное выделение энергии вызывает значительное повышение температуры и давления, поэтому все продукты взрыва превращаются в нагретые и сильно сжатые газы. Имея высокую температуру и находясь под значительным давлением, эти газы быстро расширяются и создают в окружающей среде — воздухе,

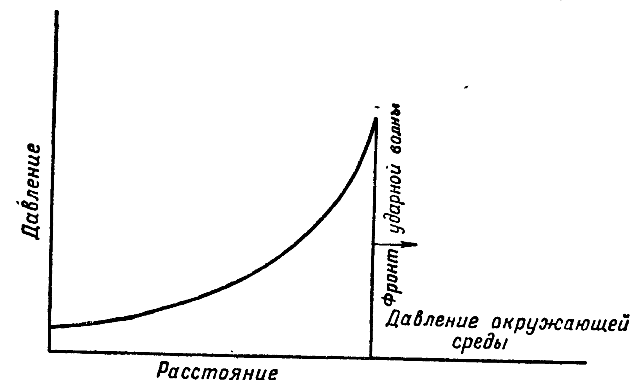


Рис. 1.01. Изменение давления в ударной волне в зависимости от расстояния

[1] Термины «ядерный» и «атомный» могут применяться как синонимы, когда речь идет об оружии или взрывах, однако в данном случае более подходит термин «ядерный» по причинам, изложенным в п. 1.10.

ности земли или воды, появляется промежуточное положение, при котором сам взрыв может рассматриваться как нечто среднее между взрывом на поверхности земли и воздушным взрывом. При наземных (надводных) взрывах соотношение энергии воздушной ударной волны и волны сжатия в грунте (подводной ударной волны) изменяется в зависимости от мощности и высоты взрыва.

1.37. Хотя каждый из пяти указанных видов взрывов рассматривался самостоятельно, в действительности между ними не существует четкого разграничения. Очевидно, что с уменьшением высоты взрыв на большой высоте превратится в воздушный взрыв, а воздушный взрыв станет наземным. Точно так же наземный (надводный) взрыв становится подземным (подводным), если он происходит на небольшой глубине, на которой часть огненного шара фактически прорывается через поверхность земли или воды. Несмотря на это, как будет показано в последующих главах, более удобно делить ядерные взрывы на пять общих видов, определение которых было дано выше.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЯВЛЕНИЙ, СВЯЗАННЫХ С ЯДЕРНЫМ ВЗРЫВОМ

Энергия деления ядер и цепная ядерная реакция

1.38. Характерной особенностью процесса деления ядра атома урана (или плутония) путем захвата одного нейтрона является то, что наряду с выделением большого количества энергии этот процесс сопровождается также мгновенным испусканием двух или более нейтронов. Это можно выразить следующим равенством:

нейтрон + ядро атома урана-235 (или плутония-239) →
→ осколки деления + 2 (или 3) нейтрона + энергия.

Освобождающиеся при этом нейтроны в свою очередь способны вызвать деление ядер других атомов урана (или плутония) с испусканием новых нейтронов, которые могут вызвать дальнейшее деление ядер, и т. д. Таким образом, в принципе один-единственный нейтрон может положить начало целой цепи ядерных делений, причем, как это будет видно из последующего текста, число вовлекаемых в этот процесс ядер и количество освобождаемой при этом энергии возрастают с колоссальной скоростью.

1.39. Существует много различных вариантов деления ядра атома данного делящегося вещества на два осколка, однако общее количество энергии, высвобождающейся при каждом акте деления, изменяется незначительно. Примерная средняя величина этой энергии составляет 200 млн. электронвольт. Удобной единицей количества энергии, высвобождающейся при ядерных реакциях, был признан 1 миллион электронвольт (или 1 Мэв). Эта величина эквивалентна $1{,}6 \cdot 10^{-6}$ эргов или $1{,}6 \cdot 10^{-13}$ джоулей. Распределение этой энергии между осколками деления и различными видами радиоактивных излучений при реакции деления приводится в таблице 1.39.

Таблица 1.39

Распределение энергии деления ядер

	Мэв
— кинетическая энергия осколков деления	165±5
— энергия мгновенного гамма-излучения	7±1
— кинетическая энергия нейтронов, образующихся при реакции деления	5±0,5
— энергия бета-частиц, испускаемых продуктами деления	7±1
— энергия гамма-лучей, испускаемых продуктами деления	6±1
— энергия нейтронов, излучаемых продуктами деления	10
Суммарная энергия реакции деления	200±6

1.40. Данные, приведенные в таблице, применимы к урану-233, урану-235 и плутонию-239. Они являются единственными тремя известными элементами, которые довольно хорошо сохраняют свою стабильность, могут храниться в течение длительного времени без заметного распада и в то же время способны претерпевать реакции деления путем захвата нейтронов любых энергий. Следовательно, эти элементы являются единственными делящимися материалами, которые могут быть использованы для поддержания цепной реакции деления. Атомы урана-238, содержащегося в природном уране в наибольшем количестве (до 99,3%), и атомы тория-232 подвергаются реакции деления путем захвата нейтронов только высоких энергий и не делятся нейтронами малых энергий. Поэтому в этих веществах не может поддерживаться цепная реакция. Однако распределение энергии реакции деления ядер этих элементов такое же, как указано в таблице.

1.41. При ядерном взрыве сразу выделяется только часть энергии деления ядер; она состоит из кинетической энергии осколков деления, преобладающей части энергии мгновенного гамма-излучения и нейтронного потока и небольшой части энергии распада продуктов деления. Существует некоторое возмещение энергии, выделяющейся при ядерных реакциях, которые сопровождаются захватом нейтронов осколками деления; поэтому обычно принято считать, что во время каждой реакции деления выделяется около 180 Мэв энергии. В 235 г урана-235 (или в 239 г плутония-239) содержится $6{,}02 \cdot 10^{23}$ ядер; используя известные коэффициенты пересчета (п. 1.39), можно получить числовые значения для эквивалентных количеств энергии (или других физических единиц), выделяющейся при взрыве 1 килотонны тротила. Эти значения сведены в таблицу 1.41.

Таблица 1.41

Эквиваленты энергии, выделяющейся при взрыве 1 килотонны тротила

— полное деление 0,056 кг (56 г) делящегося вещества;
— деление $1{,}45 \cdot 10^{23}$ ядер;
— 10^{12} калорий;
— $4{,}2 \cdot 10^{19}$ эргов;
— $1{,}15 \cdot 10^{6}$ киловатт-часов;
— $1{,}8 \cdot 10^{9}$ британских тепловых единиц.

1.42. Интересные данные, связанные со скоростью высвобождения энергии при ядерном взрыве, могут быть получены, если рассматривать цепную ядерную реакцию в целом как серию ступеней отдельных цепных реакций. Предположим, что первоначально существует некоторое количество нейтронов, которые захватываются ядрами атомов делящегося вещества; тогда в процессе реакции деления освобождаются другие нейтроны, которые в свою очередь захватываются другими ядрами атомов делящегося вещества. В результате этих превращений освобождается все больше и больше нейтронов. Каждая ступень цепной реакции деления рассматривается как новое поколение нейтронов, и время образования каждого из этих поколений является средним временем, в течение которого оно зарождается. Время, необходимое для фактического деления ядра атома, чрезвычайно мало, и большая часть нейтронов испускается при этом мгновенно. Следовательно, время образования нового поколения нейтронов, по существу, равно среднему времени, протекающему между моментом освобождения нейтрона и моментом его последующего захвата ядром атома делящегося вещества. Помимо прочих факторов это время зависит от энергии (или скорости) нейтрона; если большинство нейтронов обладают относительно высокой энергией, причем в этом случае они называются быстрыми нейтронами, то время образования нового поколения нейтронов составляет около одной стомиллионной доли секунды, т. е. одной сотой доли микросекунды.

1.43. Хотя при делении каждого ядра атома высвобождается от двух до трех нейтронов, не все из этих нейтронов способны вызвать новое деление; некоторые из них выходят из сферы реакции, а другие вступают в реакции, не сопровождающиеся делением ядер. Предположим, что при захвате ядром атома одного нейтрона происходит реакция деления, в результате которой освобождается f нейтронов; пусть l — среднее на каждую реакцию деления число нейтронов, не вступивших по каким-либо причинам в нее. Тогда число нейтронов, способных поддержать цепную реакцию, будет равно $f-l$. Если в любой момент времени имеется N нейтронов, то в результате их захвата ядрами атомов делящегося вещества в конце периода образования одного поколения нейтронов будет освобождено $N(f-l)$ нейтронов; следовательно, увеличение числа нейтронов в каждом новом поколении составит $N(f-l)-N$, или $N(f-l-1)$. Для удобства величину $f-l-1$, характеризующую увеличение числа нейтронов на каждую реакцию деления, выразим через x. Если g — время образования нового поколения нейтронов, то скорость возрастания числа нейтронов можно выразить следующим образом:

$$\frac{dN}{dt}=N\cdot\frac{x}{g}.$$

Решением этого равенства будет выражение

$$N=N_0e^{\frac{xt}{g}},$$

где N_0 — первоначальное число нейтронов;

N — число нейтронов, освобождающихся за время t;

$\frac{t}{g}$ — число поколений нейтронов, образованных за время t.

Выразив эту дробь через n, получим следующее равенство:

$$N=N_0e^{xn}. \quad (1.43.1)$$

1.44. Если известно значение x, то равенство (1.43.1) может быть использовано для расчета либо числа нейтронов, освобождаемых в результате образования заданного количества поколений нейтронов при цепной ядерной реакции, либо количества образующихся поколений нейтронов, необходимых для высвобождения определенного числа этих элементарных частиц. Для урана-235 величина f равна около 2,5; величину l можно ориентировочно принять равной 0,5; следовательно, величина x, равная $f-l-1$, будет примерно равна 1. Поэтому равенство (1.43.1) может быть записано следующим образом:

$$N\approx N_0e^n \text{ или } N\approx N_0\cdot 10^{\frac{n}{2,3}}. \quad (1.44.1)$$

1.45. Согласно данным, приведенным в таблице 1.41, для выделения энергии, эквивалентной энергии взрыва 0,1 килотонны тротила, потребуется осуществить $1,45\cdot 10^{22}$ ядерных реакций деления, а следовательно, высвободить такое же число нейтронов. Если цепная ядерная реакция вызвана одним нейтроном, в силу чего N_0 равно 1, то из равенства (1.44.1) следует, что для высвобождения необходимого числа нейтронов потребуется образовать примерно 51 поколение нейтронов. Точно так же для выделения энергии, эквивалентной энергии взрыва 100 килотонн тротила, потребуется $1,45\cdot 10^{25}$ нейтронов, которые могут быть высвобождены в результате образования 58 поколений нейтронов. Из сказанного вытекает, что 99,9% энергии, выделяемой при ядерном взрыве мощностью 100 килотонн, высвобождается в течение времени образования последних семи поколений нейтронов, т. е. за период, равный примерно 0,07 микросекунды. Такой же результат получается при ядерном взрыве любой мощности.

1.46. Вышеприведенные данные показывают, что за время образования более 50 поколений нейтронов, т. е. за период, составляющий с момента начала цепной ядерной реакции деления около половины микросекунды, выделяется такое огромное количество энергии, что температура окружающей среды поднимается до чрезвычайно высокого уровня. В результате этого, несмотря на ограничивающий эффект экранирования (п. 1.52) и помещение ядерного заряда во внешнюю оболочку, масса делящегося вещества начнет очень быстро расширяться. Время, по истечении которого начинается это расширение, называется временем взрыва. Поскольку расширение делящегося вещества приводит к более

после взрыва, были кратковременными и являлись следствием действия ударной волны и светового излучения. Во всяком случае, такие изменения были значительными только в непосредственной близости от места взрыва. Основная структура облаков над лагуной не изменилась, если не считать появления радиоактивного облака, непосредственно связанного со взрывом.

2.135. Степень ионизации, создаваемой радиоактивными продуктами взрыва, даже при ядерном взрыве на большой высоте, по-видимому, является недостаточной для того, чтобы вызвать сколько-нибудь значительное нарушение общих атмосферных условий. Поэтому маловероятно, чтобы ионизация, сопровождающая ядерный взрыв, могла повлиять на погоду, хотя она и может способствовать возникновению искусственной зари и создать помехи радиопередачам.

2.136. Известно, что пыль, поднимающаяся при сильных вулканических извержениях (например, при таких, как извержение вулкана Кракатоа, происходившее в 1883 году), вызывает заметное понижение количества солнечного света, достигающего земной поверхности. Однако никогда не было установлено, что это уменьшение поступающей от солнца энергии оказывает какое-либо влияние на погоду. Количество частиц различных веществ, остающихся в атмосфере после наиболее мощных ядерных взрывов, вероятно, не превышает 1% (или около этого) общего количества частиц, поднятых вверх при извержении вулкана Кракатоа. Кроме того, показания приборов, регистрирующих солнечную радиацию, свидетельствуют о том, что ни один из ядерных взрывов до сего времени не привел к сколько-нибудь заметным изменениям количества прямого солнечного света, достигающего земной поверхности.

2.137. Разнообразность явлений погоды, обусловленная природными причинами, затрудняет доказательство (или опровержение) того, что любое изменение погоды, наблюдающееся после ядерного взрыва, было вызвано этим взрывом. Однако, по общему мнению компетентных метеорологов, как в США, так и в других странах ядерные взрывы не оказывали влияния на погоду, за исключением локализованного воздействия в непосредственной близости от района проведения испытаний.

СТАДИИ РАЗВИТИЯ ВОЗДУШНОГО ВЗРЫВА

Сразу же после ядерного взрыва в воздухе образуется сильно раскаленный светящийся (газообразный) огненный шар. Ввиду своей чрезвычайно высокой температуры он испускает световое (тепловое) излучение, способное вызвать ожоги на теле человека и воспламенение возгораемых материалов на значительном расстоянии. Ядерные процессы при взрыве сопровождаются вредным ядерным излучением (испускание гамма-лучей и нейтронов),

также обладающим большой проникающей способностью в воздухе. Вскоре после взрыва в воздухе возникает разрушительная ударная волна, которая быстро удаляется от огненного шара.

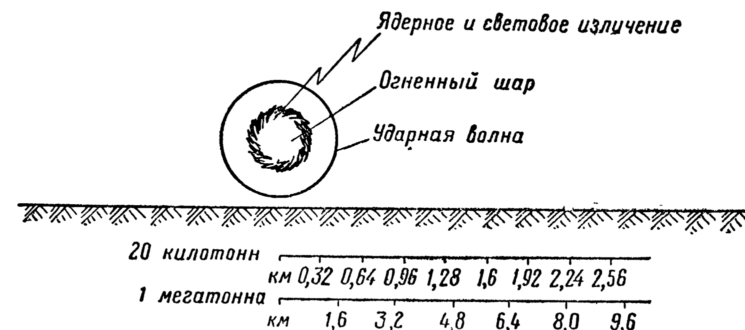


Рис. 2.51а. Развитие воздушных ядерных взрывов мощностью в 20 килотонн и 1 мегатонну (соответственно через 0,5 и 1,8 сек после взрыва)

К моменту времени, указанному на рисунке, огненный шар почти достигает своих максимальных размеров, как это видно из следующей таблицы:

	Диаметр огненного шара в метрах при взрыве ядерного заряда мощностью: 20 кт	1 Мт
К указанному моменту времени	438	1890
Максимальный размер	465	2160

Фронт ударной волны в воздухе к указанному на рисунке моменту времени находится от огненного шара на расстоянии 240 м при ядерном взрыве мощностью 20 килотонн и около 800 м при взрыве мощностью 1 мегатонна.

При падении прямой воздушной ударной волны на поверхность земли возникает отраженная ударная волна. На определенном расстоянии от эпицентра взрыва фронты прямой и отраженной волн сливаются у поверхности земли, образуя одну более сильную волну, называемую волной Маха (или головной ударной волной).

Время и расстояние, на котором возникает волна Маха для воздушных взрывов, осуществляемых на заданных высотах, показаны в следующей таблице:

Мощность	Высота взрыва (м)	Время после взрыва (сек)	Расстояние от эпицентра взрыва (км)
20 килотонн	528	1,25	0,56
1 мегатонна	1950	4,6	2,1

В момент образования волны Маха избыточное давление у поверхности земли составляет 1,12 кг/см².



Рис. 2.51б. Развитие воздушных ядерных взрывов мощностью в 20 килотонн и 1 мегатонну (соответственно через 1,25 и 4,6 сек после взрыва)

С течением времени волна Маха удаляется от эпицентра и высота ее фронта увеличивается. Расстояния от эпицентра взрыва и высота фронта волны Маха для указанных на рисунке промежутков времени приведены в следующей таблице:

Мощность	Высота взрыва (м)	Время после взрыва (сек)	Расстояние от эпицентра взрыва (км)	Высота фронта волны Маха (м)
20 килотонн	528	3	1,4	55,5
1 мегатонна	1950	11	5,1	204

Избыточное давление во фронте волны Маха составляет 0,42 кг/см², а скорость воздуха непосредственно за этим фронтом — около 290 км/час.

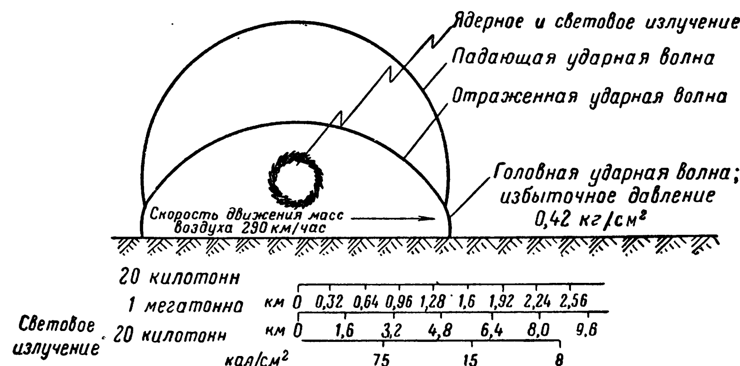


Рис. 2.51в. Развитие воздушных ядерных взрывов мощностью в 20 килотонн и 1 мегатонну (соответственно через 3 и 11 сек после взрыва)

Но через 3 секунды после ядерного взрыва мощностью 20 килотонн огненный шар остывает настолько, что световое излучение не имеет большого значения, хотя огненный шар продолжает оставаться еще в сильно нагретом состоянии. Общее количество светового излучения в калориях, приходящееся на один квадратный сантиметр поверхности на различных расстояниях от эпицентра воздушного взрыва мощностью 20 килотонн на высоте 528 м, показано на нижней шкале рисунка (более подробно об этом говорится в главе 7). Через 11 секунд после взрыва мощностью в 1 мегатонну огненный шар все еще продолжает испускать значительное количество светового излучения; испускание светового излучения происходит в течение более длительного промежутка времени, чем при взрыве меньшей мощности.

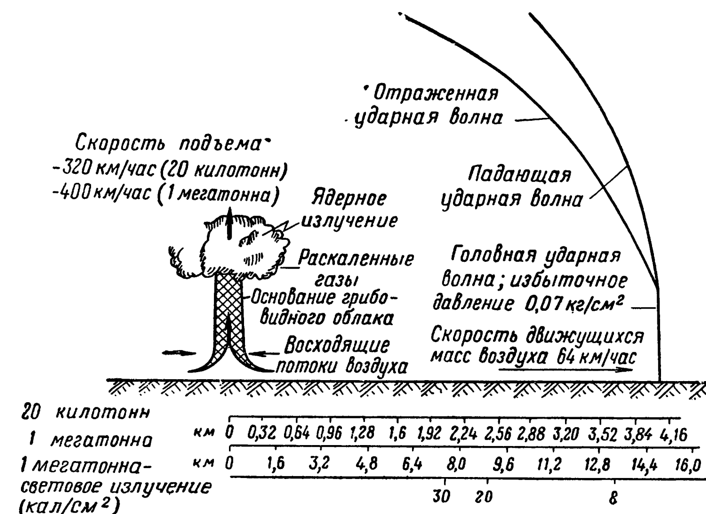


Рис. 2.51г. Развитие воздушных ядерных взрывов мощностью в 20 килотонн и 1 мегатонну (соответственно через 10 и 37 сек после взрыва)

Через 10 секунд после взрыва мощностью в 20 килотонн на высоте 528 м фронт волны Маха находится на расстоянии около 4 км от эпицентра взрыва, а для взрыва мощностью в 1 мегатонну на высоте около 2 км через 37 секунд после взрыва он находится на расстоянии около 15,2 км от эпицентра. В обоих случаях избыточное давление во фронте волны Маха составляет около 0,07 кг/см², а скорость воздуха за фронтом — 64 км/час. При этих условиях будут наблюдаться незначительные повреждения многих сооружений, в том числе срыв дверей и оконных рам, разрушение крыш, повреждение штукатурки. При избыточном давлении менее 0,035 кг/см² будут выбиты из окон стекла. Световое излучение через 37 секунд после взрыва даже при взрыве мощностью в 1 мега-

тонну уже не имеет важного значения. Общее количество светового излучения, получаемого на различном расстоянии от эпицентра взрыва, показано на нижней шкале рисунка. Однако ядерное излучение в значительном количестве все еще может наблюдаться на поверхности земли; оно состоит главным образом из гамма-лучей, испускаемых продуктами деления.

Огненный шар больше уже не светится, но продолжает оставаться в сильно нагретом состоянии; он ведет себя подобно баллону, наполненному горячим воздухом, и поднимается вверх с боль-

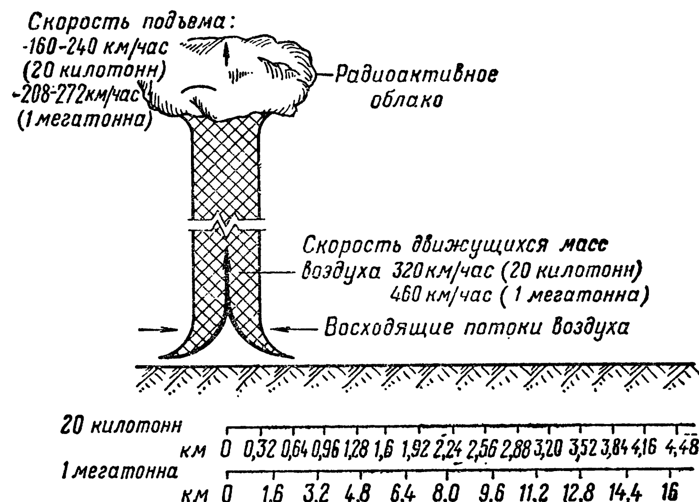


Рис. 2.51д. Развитие воздушных ядерных взрывов мощностью в 20 килотонн и 1 мегатонну (соответственно через 30 и 110 сек после взрыва)

шой скоростью. При своем подъеме вверх огненный шар втягивает во внутрь и вверх воздух примерно таким же образом, как это происходит в дымоходной трубе. Вследствие этого возникают сильные восходящие потоки воздуха, называемые вторичными потоками. При относительно низких воздушных взрывах эти потоки могут поднять с поверхности земли пыль и другие твердые частицы, которые образуют стержень (ножку) характерного грибовидного облака.

Горячие продукты взрыва продолжают подниматься вверх, одновременно расширяясь и охлаждаясь. В результате этого газообразные продукты деления и другие остаточные продукты конденсируются и образуют облако, состоящее из частиц с высокой радиоактивностью. Восходящие потоки (вторичные потоки) имеют скорость 320 км/час и более; при низком воздушном взрыве эти

потоки продолжают поднимать столб пыли и других частиц, который затем соединяется с радиоактивным облаком, приобретая при этом характерную грибовидную форму. За указанное время облако от взрыва мощностью в 20 килотонн поднимается на высоту около 2,4 км, а при взрыве мощностью в 1 мегатонну — на высоту около 10 км. Примерно через 10 минут радиоактивное облако достигнет максимальной высоты соответственно 10,2 и 20,4 км. В конечном итоге частицы, составляющие облако, рассеиваются ветром, и до тех пор, пока они не осядут, раннее (или местное) выпадение радиоактивных веществ отсутствует. Только при высотах, равных менее 180 м для взрыва мощностью в 20 килотонн и менее 900 м для взрыва мощностью в 1 мегатонну, можно ожидать раннее выпадение радиоактивных веществ в значительном количестве.

Хотя к этому времени облако все еще остается сильно радиоактивным, ядерное излучение на поверхности земли будет незначительным. Это объясняется тем, что радиоактивное облако уже поднялось на большую высоту, а активность продуктов деления уменьшилась в результате естественного радиоактивного распада.

СТАДИИ РАЗВИТИЯ ПОДВОДНОГО ВЗРЫВА НА НЕБОЛЬШОЙ ГЛУБИНЕ

При ядерном взрыве под водой образуется пузырь раскаленных газов и пара, который прорывается через поверхность воды, если взрыв происходит на небольшой глубине. В результате ядерного взрыва мощностью в 100 килотонн вверх выбрасывается полый столб воды и водяных брызг, который через 2 секунды после взрыва достигает высоты более 1500 м. При этом газообразные продукты взрыва прорываются в атмосферу через центральную полую часть водяного столба.

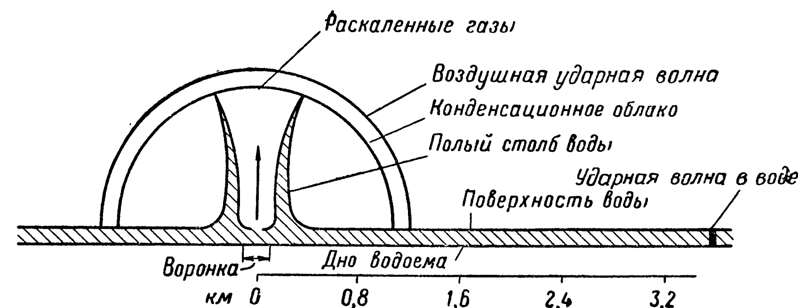


Рис. 2.80а. Развитие подводного ядерного взрыва, произведенного на **небольшой глубине**, мощностью в 100 килотонн (через 2 сек после взрыва)

Ударная волна в воде, создаваемая взрывом, распространяется с большой скоростью во все стороны от центра взрыва, и через 2 секунды она находится на расстоянии более 3,2 км от эпицентра взрыва. В результате прорыва раскаленного газообразного пузыря через поверхность образуется также ударная волна в воздухе, но она движется гораздо медленнее, чем подводная волна, так что ее фронт через 2 секунды находится на расстоянии около 1,3 км от эпицентра взрыва.

Вскоре после прохождения воздушной ударной волны образуется куполообразное облако, состоящее из капелек воды, называемое конденсационным облаком, которое сохраняется в течение

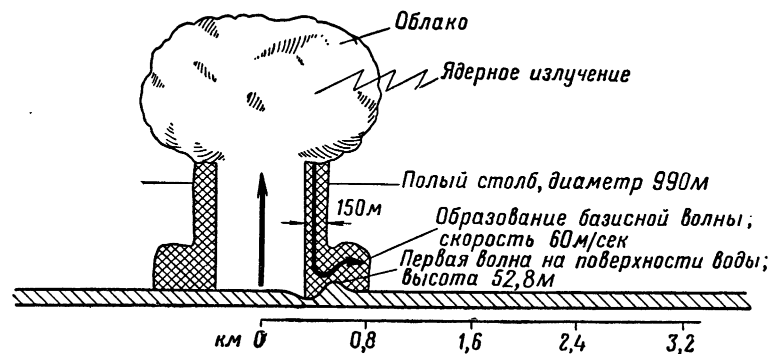


Рис. 2.80б. Развитие подводного ядерного взрыва, произведенного на небольшой глубине, мощностью в 100 килотонн (через 12 сек после взрыва)

1—2 секунд. Хотя это явление и выглядит эффективным, оно, по-видимому, не имеет никакого значения с точки зрения применения ядерного оружия или защиты от него.

При подводном взрыве на умеренной (или большой) глубине почти все световое излучение и большая часть начального ядерного излучения поглощаются водой.

Через 12 секунд после подводного ядерного взрыва мощностью в 100 килотонн диаметр водяного столба составляет около 1 км, а толщина его стенок — 150 м. Продукты взрыва, прорываясь наружу через центральную полую часть столба, конденсируются и разбрасываются в стороны, образуя облако, напоминающее по своему внешнему виду кочан цветной капусты и частично закрывающее верхнюю часть столба. Облако сильно радиоактивно из-за присутствия в нем продуктов деления; следовательно, оно является источником ядерного излучения. Ввиду того что облако находится на большой высоте, поражающее действие ядерного излучения у поверхности воды незначительно.

Через 10—12 секунд после подводного взрыва на небольшой глубине начинается падение масс воды из столба и при этом во-

круг основания столба образуется кольцо сильно радиоактивного тумана, называемое базисной волной. Это кольцеобразное облако движется во всех направлениях от столба вдоль поверхности воды с начальной скоростью 60 м/сек (216 км/час). При подводных взрывах на определенных глубинах радиоактивное облако может и не образоваться, хотя обычно всегда возникает базисная волна.

Благодаря возмущениям, вызванным подводным взрывом, на поверхности воды образуются большие поверхностные волны. Через 12 секунд после взрыва мощностью 100 килотонн тротилового эквивалента первая из этих волн находится на расстоянии 540 м от эпицентра взрыва, а ее высота от впадины до гребня составляет 52,8 м.

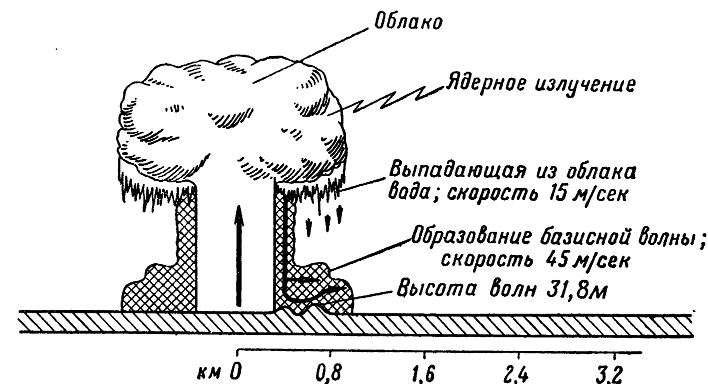


Рис. 2.80в. Развитие подводного ядерного взрыва, произведенного на небольшой глубине, мощностью в 100 килотонн (через 20 сек после взрыва)

В то время как вода и брызги, образующие столб, продолжают падать вниз, базисная волна развивается, поднимаясь вверх и двигаясь во все стороны от эпицентра взрыва вдоль поверхности воды. Через 20 секунд после ядерного взрыва мощностью в 100 килотонн высота базисной волны составляет около 300 м, а ее фронт находится примерно в 800 м от эпицентра взрыва. В это время базисная волна движется от центра со скоростью около 45 м/сек (160 км/час).

Примерно в это же время из радиоактивного облака начинает выпадать большое количество воды, что иногда называют массовым выпадением воды. Начальная скорость падения составляет около 15 м/сек. Диаметр водяного столба вследствие этого уменьшается до 600 м. Через 20 секунд после взрыва первая поверхностная волна достигает расстояния от эпицентра взрыва, равного около 600 м, а ее высота составляет около 32 м.

Через 1 минуту после подводного взрыва вода, падая из радиоактивного облака, достигает поверхности, образуя зону основного выпадения радиоактивных продуктов. Следовательно, между

радиоактивным облаком (когда оно уже образовано) и поверхностью воды возникает сплошное кольцо из воды и брызг.

Примерно в это же время базисная волна отделяется от основания столба, при этом четко видна ее кольцеобразная форма. Высота базисной волны в это время составляет около 400 м, а ее фронт, движущийся во все стороны со скоростью около 23 м/сек (80 км/час), находится на расстоянии около 1,9 км от эпицентра взрыва. Ввиду радиоактивности базисной волны она может оказать поражающее действие на людей.

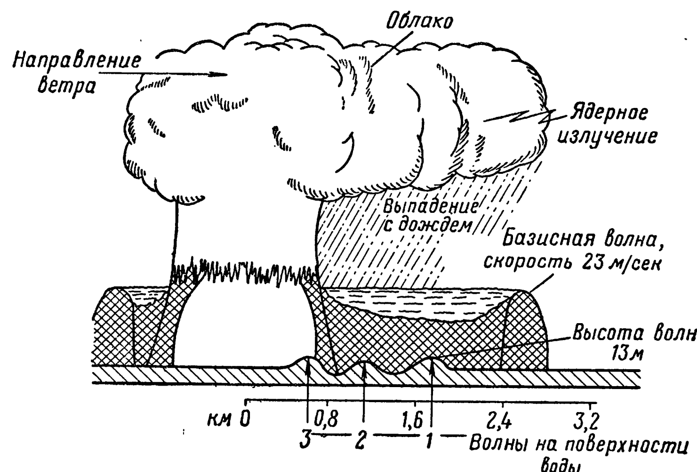


Рис. 2.80г. Развитие подводного ядерного взрыва, произведенного на небольшой глубине, мощностью в 100 килотонн (через 1 мин после взрыва)

В этот момент образуется уже несколько поверхностных волн; первая волна высотой около 13 м находится на расстоянии около 1,6 км от эпицентра взрыва.

Через 2,5 минуты после подводного ядерного взрыва мощностью в 100 килотонн фронт базисной волны находится примерно в 3,2 км от эпицентра взрыва, а ее высота составляет примерно 600 м. Наибольшее расстояние от эпицентра, на которое распространилось видимое облако базисной волны через 4 минуты после взрыва, составляет примерно 4 км, т. е. диаметр облака составляет около 8 км. В это время базисная волна отрывается от поверхности воды. Явление отрыва базисной волны от поверхности воды объясняется несколькими причинами, в том числе увеличением высоты, уменьшением толщины облака за счет поглощения его воздухом и выпадением из него крупных капель воды в виде дождя. Благодаря естественному радиоактивному распаду продуктов деления, выпадению дождя и разрежению облака воздухом, интенсивность ядерного излучения, испускаемого базисной волной, через

2,5 минуты после взрыва составляет только $^1/_{20}$ интенсивности, которая наблюдалась через 1 минуту после взрыва.

Выпадение воды и водяной пыли из водяного столба и из конденсационного облака приводит к образованию сплошной массы тумана или облака, простирающегося до поверхности воды. В конце концов эта масса тумана сливается с базисной волной, которая расширяется и увеличивается в высоту, а также с естественными облаками в небе и наконец рассеивается ветром.

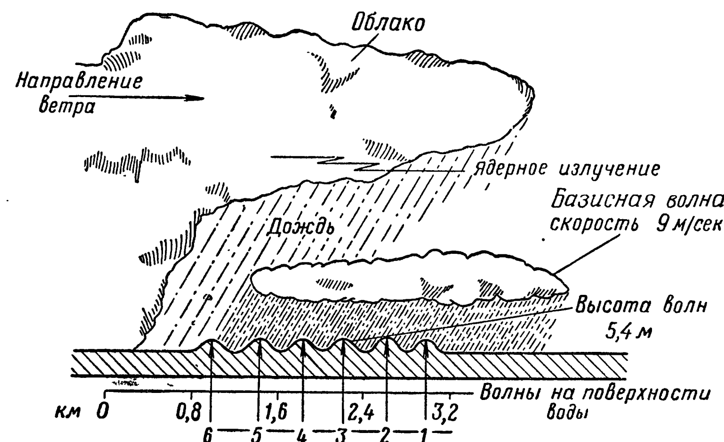


Рис. 2.80д. Развитие подводного ядерного взрыва, произведенного на небольшой глубине, мощностью в 100 килотонн (через 2,5 мин после взрыва)

Через 4 или 5 минут видимая базисная волна начинает исчезать ввиду испарения капель воды, содержащихся в ней. Однако радиоактивные частицы продолжают оставаться в воздухе и распространяются уже как невидимое облако.

СТАДИИ РАЗВИТИЯ ПОДЗЕМНОГО ВЗРЫВА

Когда ядерный взрыв происходит на небольшой глубине под землей, огненный шар прорывается через поверхность земли за какие-нибудь доли секунды с момента взрыва. При этом сильно раскаленные и сжатые газы, расширяясь, увлекают за собой в воздух в виде полого столба огромное количество грунта. При взрыве на небольшой глубине столб имеет форму опрокинутого конуса, расширяющегося веером с высотой, при этом происходит радиальный выброс грунта. При охлаждении и конденсации горячих газов над выброшенной с поверхности земли массой материала образуется облако с высокой степенью радиоактивности, которое содержит большое количество грунта. В результате выброса из поверхностного слоя земли огромных масс грунта обра-

зуется воронка. При ядерном взрыве мощностью в 100 килотонн в сухом грунте на глубине 15 метров глубина воронки составляет около 36 м, а ее диаметр — 216 м. Вес выброшенного грунта превышает 1 млн. т.

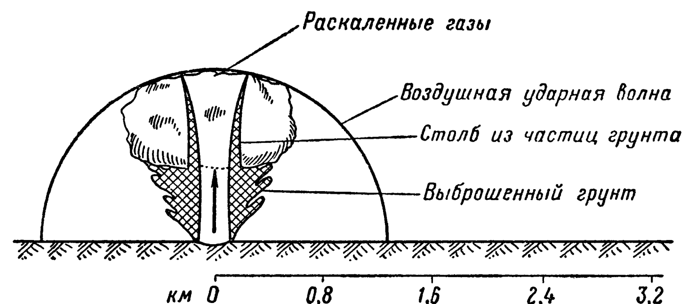


Рис. 2.93а. Развитие неглубокого подземного ядерного взрыва мощностью в 100 килотонн (через 2 сек после взрыва)

Кроме волны сжатия в грунте, аналогичной в некоторых отношениях сейсмическим волнам, образующимся во время землетрясения, при взрыве образуется также воздушная ударная волна. Через 2 секунды после взрыва фронт воздушной ударной волны находится примерно в 1,2 км от эпицентра взрыва.

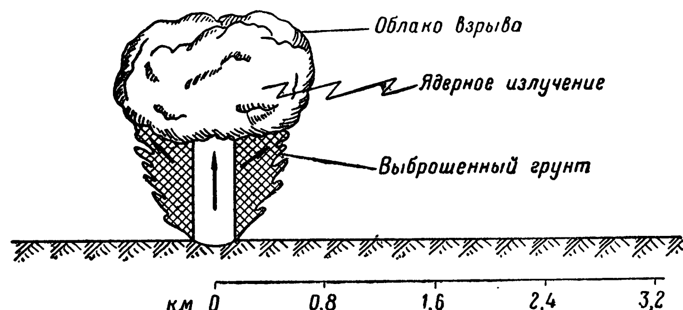


Рис. 2.93б. Развитие неглубокого подземного ядерного взрыва мощностью в 100 килотонн (через 9 сек после взрыва)

Радиоактивное облако продолжает расти, испуская интенсивное ядерное излучение, которое через 9 секунд после взрыва все еще имеет сильное поражающее действие на поверхности земли. В это же время наиболее крупные частицы грунта, выброшенного в воздух, начинают падать на землю.

При обратном падении грунта из столба наиболее мелкие его частицы приобретают высокие скорости, у поверхности земли образуется базисная волна, аналогичная базисной волне подводного взрыва. Размеры базисной волны, которая, по-видимому, обладает

высокой радиоактивностью, зависят от многих факторов, в том числе от мощности и глубины взрыва, а также от характера грунта. Считается, что сухой песчаный грунт будет особенно способствовать образованию базисной волны.

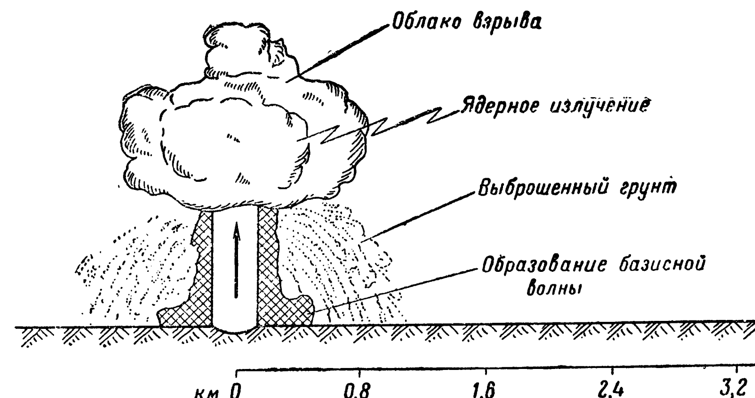


Рис. 2.93в. Развитие неглубокого подземного ядерного взрыва мощностью в 100 килотонн (через 45 сек после взрыва)

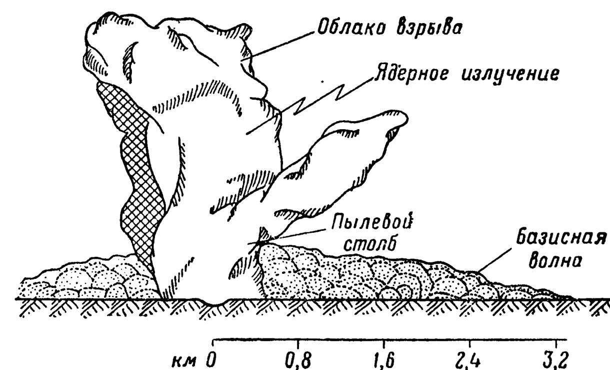


Рис. 2.93г. Развитие неглубокого подземного ядерного взрыва мощностью в 100 килотонн (через 4,5 мин после взрыва)

Базисная волна увеличивается в высоту и в стороны и вскоре начинает сливаться с радиоактивным облаком, состоящим из остаточных продуктов взрыва и других частиц, при этом часть радиоактивного облака опускается и относится в сторону ветром. Со временем радиоактивное облако рассеивается, но зараженные частицы выпадают на землю в течение нескольких часов, создавая опасное радиоактивное заражение на больших площадях, особенно в направлении ветра.

ГЛАВА 3

ЯДЕРНЫЙ ВЗРЫВ В ВОЗДУХЕ И ЕГО ДЕЙСТВИЕ

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЗДУШНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ

Возникновение ударной волны

3.01. Бóльшая часть разрушений при воздушном ядерном взрыве вызывается (прямо или косвенно) действием образующейся при взрыве ударной волны. Если избыточное давление ударной волны составляет 0,035 кг/см^2 или более, той или иной степени разрушения подвергается большинство сооружений. Расстояние, на котором ударная волна создает такое давление, зависит от мощности и высоты взрыва. Отсюда вытекает целесообразность подробного рассмотрения явлений, связанных с распространением ударной волны в воздухе.

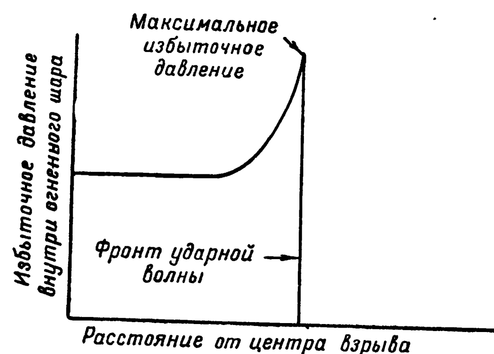


Рис. 3.03. Зависимость величины избыточного давления в огненном шаре от расстояния от центра взрыва

3.02. Разница в давлении, испытываемом различными поверхностями сооружения, создает нагрузку на сооружение в целом. При рассмотрении разрушающего действия ударной волны избыточное давление выступает как одна из важнейших ее характеристик. Поэтому в последующих разделах будет рассмотрено, как изменяется величина избыточного давления в зависимости от времени и расстояния. Наивысшее значение избыточного давления во фронте ударной волны называется максимальным избыточным давлением. Кроме максимального избыточного давления будут рассмотрены также и такие

характеристики ударной волны, как скоростной напор, время действия и время распространения ударной волны.

3.03. Как уже было сказано в главе 2, расширение заключенных в огненном шаре газов, имеющих исключительно высокую температуру и давление, создает воздушную ударную волну, распространяющуюся во все стороны с большой скоростью. Главной особенностью этой волны является то, что давление очень резко возрастает в ее движущемся фронте и уменьшается в направлении к центру взрыва. На рис. 3.03 показана картина изменения давления за фронтом ударной волны на самой ранней стадии ее образования в зависимости от расстояния до центра огненного шара. Из рисунка видно, что до момента отрыва ударной волны (п. 2.110) давление в ее фронте почти в два раза превышает весьма высокое давление внутри огненного шара.

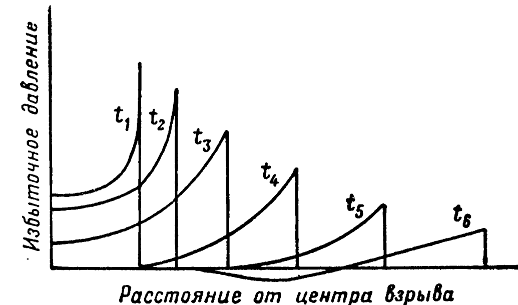


Рис. 3.04. Изменение величины избыточного давления в зависимости от расстояния для различных моментов времени

3.04. По мере того как ударная волна удаляется от источника ее образования, избыточное давление во фронте и за фронтом постепенно уменьшается. После того как фронт волны удалится от огненного шара на определенное расстояние, давление за фронтом волны становится ниже давления окружающей атмосферы и создается так называемая фаза разрежения. Этот процесс проиллюстрирован на рис. 3.04, где показано изменение избыточного давления в ударной волне в зависимости от расстояния для шести последовательных моментов времени, отмеченных индексами 1, 2, 3, 4, 5 и 6. На кривых от t_1 до t_5 давление в ударной волне не становится ниже атмосферного; однако кривая t_6 показывает, что на определенном расстоянии за фронтом волны избыточное давление имеет отрицательную величину. В этой зоне давление воздуха ниже первоначального атмосферного давления, и здесь налицо скорее отрицательное, нежели избыточное, давление.

3.05. В фазе отрицательного избыточного давления (фазе разрежения) создается разреженное пространство, в которое засасывается окружающий воздух (вместо выталкивания, как это обычно бывает при положительной величине избыточного давления). В фазе положительного избыточного давления (фазе сжатия) масса воздуха под воздействием ударной волны движется от центра взрыва, в фазе разрежения — к центру взрыва. К концу фазы разрежения, которая длится несколько дольше, нежели фаза сжатия, давление в ударной волне поднимается до давления окружающей атмосферы. Максимальная величина отрицательного из-

быточного давления обычно является небольшой по сравнению с максимальной величиной положительного избыточного давления и достигает значения 0,28 кг/см². С увеличением расстояния от центра взрыва обе максимальные величины избыточного давления уменьшаются, причем максимальная величина положительного избыточного давления уменьшается быстрее, чем величина отрицательного избыточного давления. Уравниваются они только тогда, когда достигают очень небольшого уровня.

Изменение избыточного давления во фронте воздушной ударной волны с течением времени

3.06. С практической точки зрения интересно проследить за изменением избыточного давления ударной волны в зависимости от времени в какой-либо фиксированной точке. На рис. 3.06 показано изменение избыточного давления в зависимости от времени в фиксированной точке через несколько секунд (возможно, до полминуты) после момента взрыва. На левой стороне этого же рисунка показана общая картина воздействия избыточного давления на легкие постройки, деревья и мелких животных в различные моменты прохождения ударной волны.

3.07. Давление в фиксированной точке начинает возрастать через некоторое время после взрыва, необходимое для прохождения ударной волной расстояния от места взрыва до данной точки. В момент прихода фронта ударной волны давление воздуха в рассматриваемой точке резко повышается и достигает величины максимального избыточного давления. На рис. 3.06 цифрой «1» обозначен момент взрыва, а цифрой «2» — момент прихода в данную точку фронта ударной волны.

В момент, указанный цифрой «2», от места взрыва начинается очень сильное движение воздуха, называемое часто скоротечным ветром, поскольку его скорость с течением времени быстро падает.

3.08. Максимальное давление, возникшее в момент прихода фронта ударной волны, тут же быстро начинает падать и в момент, соответствующий точке «3» на рис. 3.06, становится равным первоначальному атмосферному давлению.

Хотя избыточное давление в данной точке стало равно нулю, масса воздуха продолжает пока еще двигаться в том же направлении (от центра взрыва). Отрезок между цифрами «2» и «3», соответствующий по времени 0,5—1 секунде для взрыва мощностью в 20 килотонн и 2—4 секундам для взрыва мощностью в 1 мегатонну, представляет собой время действия положительного давления (фазы сжатия) ударной волны. Именно в этот период воздушная ударная волна обладает наибольшим разрушающим действием.

3.09. Продолжая уменьшаться, давление ударной волны становится ниже атмосферного в окружающей среде. По времени этот момент на рис. 3.06 соответствует отрезку между цифрами «3» и «5». В этот период над строением проходит отрицательная фаза

давления ударной волны (фаза разрежения), которая длится несколько секунд. В течение большей части этой фазы воздушные потоки движутся в направлении к центру взрыва. В фазе разрежения ударной волны возможны некоторые разрушения, вызываемые

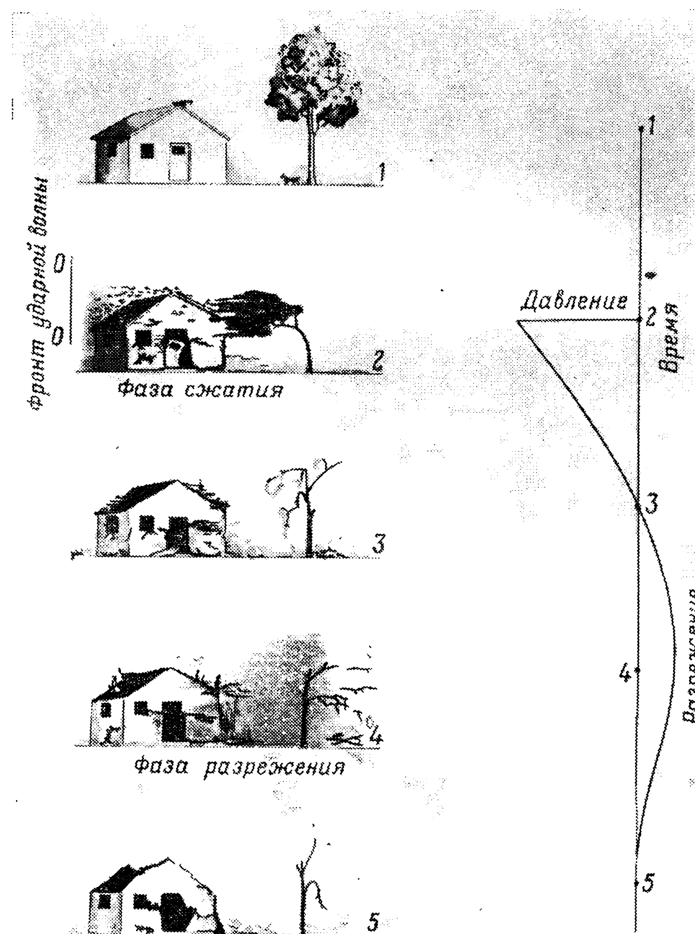


Рис. 3.06. Изменение величины давления в фиксированной точке на местности в зависимости от времени и действие ударной волны на местные предметы

мые движением заключенного в сооружении воздуха, имеющего нормальное давление (могут быть разрушены легкие оштукатуренные стены, выбиты слабо защищенные от удара изнутри большие окна и повреждены каменные перегородки). Однако, поскольку максимальное отрицательное избыточное давление в це-

лом меньше максимального избыточного давления во фронте ударной волны, в фазе разрежения ударная волна приносит меньше разрушений, нежели в положительной фазе (фазе сжатия). В фазе разрежения давление сначала уменьшается, а затем увеличивается и к моменту, обозначенному цифрой «5», достигает величины давления окружающей атмосферы. К этому моменту практически прекращается и движение масс воздуха и кончается непосредственное разрушающее действие воздушной ударной волны. Однако косвенные разрушения могут иметь место от возникших пожаров (гл. 7).

Скоростной напор (динамическое давление)

3.10. Хотя разрушающее действие ударной волны обычно связывается с величиной максимального избыточного давления в ее фронте, имеется и другой, не менее важный по значению, параметр — скоростной напор. Для значительной части сооружений

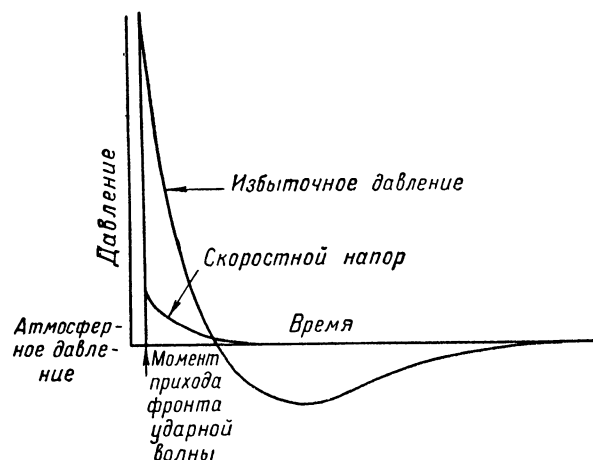


Рис. 3.12. Изменение величины избыточного давления и скоростного напора в фиксированной точке в зависимости от времени (в области низких давлений)

степень разрушения зависит главным образом от величины силы (нагрузки) торможения, образующейся при воздействии масс воздуха за фронтом ударной волны на сооружение. На величину этой силы влияют некоторые характеристики сооружения (главным образом его форма и размеры), но в основном она зависит от максимальной величины динамического давления и продолжительности его действия на то или иное сооружение.

3.11. Величина скоростного напора находится в прямой зависимости от скорости и плотности воздуха за фронтом ударной

волны. Оба эти параметра зависят от избыточного давления волны и связаны с величиной этого давления (при идеальных условиях за фронтом ударной волны) определенными равенствами, о которых пойдет речь ниже (п. 3.49). Для сильных ударных волн скоростной напор больше избыточного давления, но при избыточном давлении менее 4,9 кг/см² скоростной напор меньше избыточного давления ударной волны. Подобно максимальному избыточному давлению ударной волны, максимальный скоростной напор уменьшается по мере удаления от центра взрыва, хотя и иными темпами. В таблице 3.11 приведены некоторые данные, характеризующие соотношение максимального избыточного давления, максимального скоростного напора и максимальной скорости движения воздуха во фронте ударной волны.

Таблица 3.11

Максимальное избыточное давление, скоростной напор и скорость движения воздуха во фронте ударной волны

Максимальное избыточное давление (кг/см²)	Максимальный скоростной напор (кг/см²)	Максимальная скорость движения масс воздуха (км/час)
14,0	23,1	3350
10,5	15,6	2850
7,0	8,6	2275
5,0	5,6	1870
3,5	2,8	1510
2,1	1,1	1070
1,4	0,56	750
0,7	0,14	449
0,35	0,06	256
0,14	0,007	112

3.12. Изменение величины скоростного напора в определенной точке в зависимости от времени в некотором роде подобно изменению величины избыточного давления, однако быстрота уменьшения давления за фронтом ударной волны обычно бывает иная. Это можно проследить на рис. 3.12, где показано, как изменяются эти два вида давления в течение первых нескольких секунд после прохождения фронта ударной волны. В приведенном примере максимальное избыточное давление равняется примерно 0,35 кг/см², а максимальный скоростной напор — около 0,05 кг/см²; при других величинах максимального избыточного давления положение кривых, естественно, будет иное — соответственно данным, приведенным в таблице 3.11.

3.13. Когда фронт ударной волны достигает данной точки, как избыточное давление, так и скоростной напор почти моментально поднимаются от нуля до их максимальных величин, а затем начи-

нают уменьшаться. Скоростной напор уменьшается до нуля несколько позднее, нежели избыточное давление, что объясняется инерцией движущегося за фронтом ударной волны воздуха. Однако для оценки разрушающего действия эта разница несущественна. В фазе отрицательного избыточного давления (фаза разрежения) ударной волны величина скоростного напора весьма незначительна и он действует в обратном направлении. Поэтому разрушения, причиняемые скоростным напором в фазе отрицательного избыточного давления ударной волны, в целом небольшие по сравнению с разрушениями, происходящими от действия скоростного напора в фазе сжатия (положительного избыточного давления) ударной волны.

Время распространения и время действия ударной волны

3.14. Как указывалось выше, для распространения ударной волны от центра взрыва до какой-либо точки требуется определенное время. Это время (время распространения) зависит от мощности взрыва и расстояния; при мощности взрыва в 1 мегатонну время распространения ударной волны на расстояние 1,6 км будет равно примерно 4 секундам. Вначале скорость фронта ударной волны очень высока, во много раз больше скорости звука, но по мере распространения ударной волны ее скорость уменьшается, так как давление во фронте падает. В конце концов на больших удалениях ударная волна превращается, по существу, в звуковую волну и скорость ее распространения приближается к скорости звука в окружающей среде.

3.15. Время действия ударной волны в какой-либо определенной точке также зависит от мощности взрыва и расстояния. На малых расстояниях от центра взрыва продолжительность фазы сжатия ударной волны самая короткая; по мере распространения ударной волны она увеличивается. Так, например, при взрыве мощностью в 1 мегатонну действие фазы сжатия ударной волны на расстоянии 1,6 км продолжается около двух секунд. Минимальная продолжительность фазы сжатия исчисляется временем от прихода фронта ударной волны до начала фазы разрежения.

3.16. Как уже указывалось выше, скорость движения потока воздуха за фронтом ударной волны падает до нуля несколько позднее окончания фазы избыточного давления. Следовательно, продолжительность действия скоростного напора в этой фазе может превосходить продолжительность действия избыточного давления на различную величину, зависящую от величины избыточного давления. Однако скоростной напор после окончания фазы сжатия настолько мал, что его можно не принимать во внимание. Поэтому время, в течение которого скоростной напор является эффективным, можно в основном считать равным продолжительности фазы сжатия. То же самое можно сказать и в отношении соответствующих фаз разрежения.

ОТРАЖЕНИЕ УДАРНОЙ ВОЛНЫ ОТ ПОВЕРХНОСТИ

Падающая и отраженная волны

3.17. Когда падающая ударная волна, образующаяся при воздушном взрыве, достигает более плотной среды, например поверхности земли или воды, она отражается. Процесс образования отраженной волны в этих условиях показан на рис. 3.17. На этом рисунке показаны четыре стадии распространения сферической ударной волны от центра воздушного взрыва. В первой стадии фронт ударной волны еще не достиг поверхности земли. Во второй стадии фронт ударной волны распространился несколько дальше, но не достиг поверхности земли. На третьей, более поздней, стадии образовалась отраженная ударная волна, показанная на рисунке пунктиром.

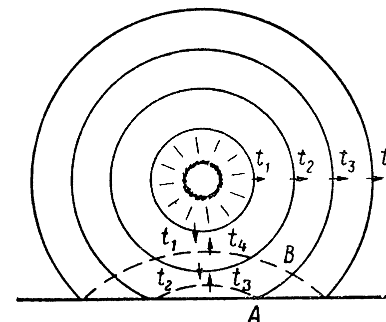


Рис. 3.17. Отражение ударной волны от поверхности земли при воздушном взрыве; t_1—t_4 — последовательные моменты времени

3.18. Когда происходит такое отражение, человек или предмет, находящийся непосредственно на поверхности, сразу испытывает увеличение давления в виде удара, поскольку отраженная волна образуется мгновенно. Следовательно, величиной избыточного давления на поверхности земли практически можно считать величину давления отражения. В районе эпицентра величина избыточного давления отраженной волны у поверхности земли более чем в два раза превышает величину максимального избыточного давления падающей ударной волны. Точная величина максимального давления отражения (п. 3.50 и 3.71) зависит от давления в падающей

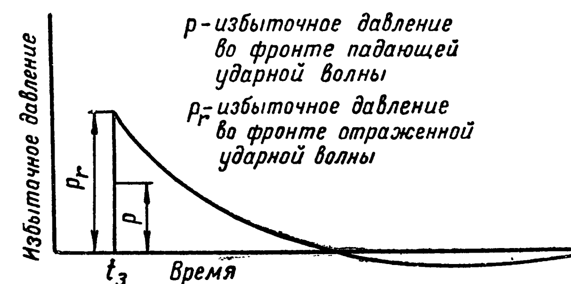


Рис. 3.18. Изменение величины избыточного давления в фиксированной точке, находящейся на поверхности земли в ближней зоне распространения ударной волны, в зависимости от времени

волне и угла ее падения. На рис. 3.18 показано изменение избыточного давления в зависимости от времени в определенной точке, расположенной недалеко от эпицентра[1], например в точке A (рис. 3.17), при идеальном фронте ударной волны. Можно считать, что точка A находится в зоне «регулярного» отражения, т. е. там, где не происходит слияния фронтов падающей и отраженной ударных волн.

3.19. В любой точке, расположенной в этом районе на некотором расстоянии от поверхности земли, будут иметь место два отдельных удара: первый — в результате действия падающей ударной волны и второй — в результате действия отраженной ударной волны, которая приходит в данную точку несколько позднее падающей (рис. 3.19). Такой точкой может быть точка B на рис. 3.17, также находящаяся в зоне регулярного отражения. Когда фронт падающей ударной волны достигает этой точки в момент времени t_3, фронт отраженной ударной волны все еще находится на определенном расстоянии от нее. Следовательно, прежде чем фронт отраженной ударной волны достигнет в момент времени t_4 точки над поверхностью земли, пройдет некоторое время. В период между моментами t_3 и t_4 происходит распространение отраженной ударной волны к точке B, в результате чего величина максимального избыточного давления в ее фронте будет меньше величины избыточного давления, которую отраженная ударная волна имела непосредственно на поверхности земли. При определении действия ударной волны воздушного взрыва на сооружения, расположенные в зоне регулярного отражения (ближняя зона распространения ударной волны), необходимо учитывать силу и направление движения падающей и отраженной ударных волн. После прохождения фронта отраженной волны движение масс воздуха вблизи поверхности земли в основном приобретает горизонтальное направление.

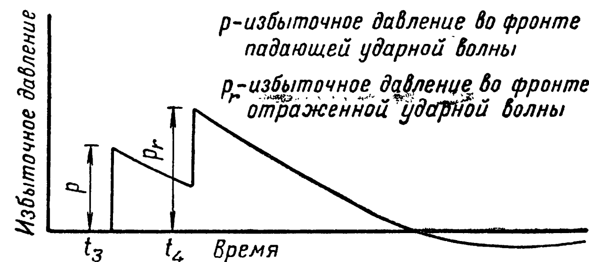


Рис. 3.19. Изменение величины избыточного давления в фиксированной точке, находящейся над поверхностью земли в ближней зоне распространения ударной волны, в зависимости от времени

[1] Объяснение термина «эпицентр» см. в п. 2.34.

Образование головной ударной волны

3.20. Вышеизложенное рассуждение о некоторой разнице во времени прихода фронтов падающей и отраженной ударных волн в некоторую точку, находящуюся над поверхностью земли, например точку B на рис. 3.17, основано на предположении, что обе волны движутся примерно с одинаковой скоростью. Такое предположение вполне справедливо для ранних стадий, когда фронт ударной волны находится недалеко от эпицентра. Однако ясно, что отраженная волна у поверхности земли всегда проходит в воздухе, нагретом и сжатом в результате прохождения падающей волны. В результате этого фронт отраженной ударной волны движется быстрее, нежели падающая волна, и при определенных условиях догоняет ее, что приводит к слиянию двух ударных волн и образованию в конечном счете одного общего фронта ударной волны. Этот процесс взаимодействия ударных волн называется отражением Маха или нерегулярным отражением. Область, где наблюдается соединение двух волн, называется областью Маха или областью нерегулярного отражения в противоположность зоне регулярного отражения, где эти волны не сливаются.

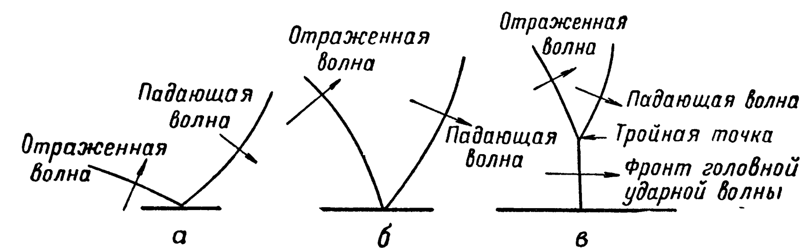


Рис. 3.21. Слияние падающей и отраженной ударных волн и образование головной ударной волны

3.21. Слияние фронтов падающей и отраженной ударных волн схематически изображено на рис. 3.21, который показывает часть профиля ударной волны вблизи поверхности земли. На рис. 3.21, *а* показано положение падающей и отраженной волн в точке, находящейся достаточно близко от эпицентра, например в точке A (рис. 3.17). На более поздней стадии по мере удаления фронта ударной волны от эпицентра более крутой фронт отраженной волны говорит о том, что он движется быстрее и нагоняет фронт падающей волны (рис. 3.21, *б*). На стадии, показанной на рис. 3.21, *в*, отраженная волна догнала у поверхности земли фронт падающей волны, слилась с ним и образовала один фронт, называющийся фронтом головной ударной волны (волны Маха). Точка,

в которой сливаются фронт падающей, фронт отраженной ударной волны и фронт головной ударной волны, называется тройной точкой[1].

3.22. По мере того как отраженная волна продолжает нагонять падающую ударную волну, тройная точка поднимается и высота фронта волны Маха увеличивается (рис. 3.22). Любой предмет, расположенный на поверхности земли или над нею в области нерегулярного отражения и ниже тройной точки, подвергнется воздействию ударной волны в виде одного удара. Характер действия образовавшейся волны (волны Маха) в общем таков же, каков характер действия ранее рассмотренных ударных волн. Избыточное давление в определенной точке после прохождения фронта падает; за положительной фазой избыточного давления (фазой сжатия) следует фаза отрицательного избыточного давления (фаза разрежения), как это показано на рис. 3.06.

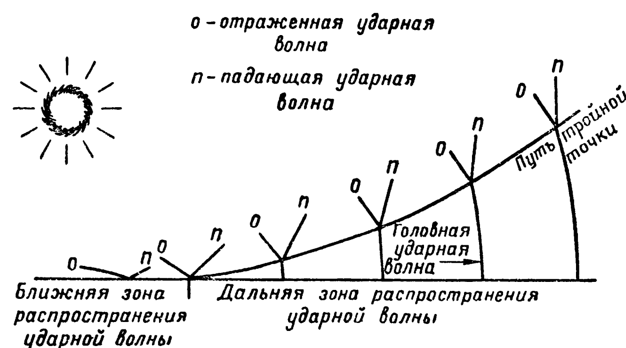


Рис. 3.22. Характер распространения ударной волны вблизи поверхности земли в дальней зоне

3.23. Объекты, находящиеся выше траектории тройной точки, например самолет или верхняя часть высокого здания, испытывают увеличение давления в виде двух ударов. Первый удар происходит в результате действия падающей ударной волны, второй удар — небольшой промежуток времени спустя, от отраженной волны. При контактном наземном (надводном) ядерном взрыве образуется только одна слившаяся волна на поверхности земли или над нею и, следовательно, будет чувствоваться только один удар.

3.24. Что касается разрушающего действия ударной волны, то необходимо уделить внимание по меньшей мере двум моментам, наблюдающимся в процессе отражения. Во-первых, в дальней зоне на высоте ниже тройной точки действует только одна волна, в то время как в зоне регулярного отражения действуют две отдельно образующиеся волны — падающая и отраженная. Во-вторых, поскольку фронт головной волны почти вертикален, образующаяся волна распространяется в горизонтальном по отношению к поверхности земли направлении и поток воздуха движется в основном параллельно поверхности земли (рис. 3.21). Таким образом, в дальней зоне силы, возникающие при взрыве, действуют на наземные сооружения и другие объекты почти горизонтально, вследствие чего вертикальные поверхности этих сооружений и объектов испытывают значительно большую нагрузку, чем их горизонтальные поверхности.

[1] Так называемая тройная точка в действительности не является точкой, представляет собой окружность с центром, находящимся на вертикальной линии, проходящей через точку взрыва; на рисунке (рис. 3.21, в) она выглядит как точка.

3.25. Расстояние от эпицентра, на котором происходит слияние волн и создается фронт головной ударной волны, зависит от мощности и высоты взрыва. Если высота взрыва не очень велика, то расстояние, на котором возникает фронт головной ударной волны, увеличивается (при неизменной мощности) по мере увеличения высоты взрыва и уменьшается (при неизменной высоте) с уменьшением мощности. При воздушном ядерном взрыве на относительно небольших высотах образование фронта головной ударной волны происходит на расстоянии от эпицентра, примерно равном высоте данного взрыва. С увеличением высоты взрыва расстояние от эпицентра, на котором создается фронт головной волны, начинает превышать высоту взрыва все большими и большими темпами.

Высота взрыва и разрушения, вызываемые взрывом

3.26. Высота и мощность ядерного взрыва являются важными факторами при определении степени разрушения находящихся на поверхности земли объектов. Эти две величины обычно обусловливают характер изменения давления в зависимости от расстояния от эпицентра взрыва, а также другие характеристики, в том числе расстояние от эпицентра до дальней зоны. С уменьшением высоты взрыва (при его неизменной мощности) или с увеличением мощности взрыва (при неизменной высоте его) происходит следующее: 1) головная волна начинает образовываться на более близком расстоянии от эпицентра; 2) избыточное давление на поверхности земли в районе эпицентра увеличивается. При контактном наземном взрыве избыточное давление в районе эпицентра достигает максимального значения. Кроме того, как будет показано в главе 6, при этом наблюдается образование воронки и возникновение волны сжатия в грунте.

3.27. Из существующей зависимости между высотой и мощностью взрыва следует, что при ядерном взрыве большой мощности на высоте несколько сот и тысяч метров действие ударной волны на поверхности земли в районе эпицентра взрыва будет таким же, как и при более низком воздушном взрыве. С другой стороны, взрыв небольшой мощности, произведенный невысоко над поверхностью земли, будет иметь характеристики типичного воздушного взрыва. Иллюстрацией к этим положениям служит ядерный взрыв над Нагасаки (Япония) во время второй мировой

войны, когда была взорвана бомба с тротиловым эквивалентом примерно в 20 килотонн на высоте около 555 м. Путем использования определенных правил, которые называются законами подобия и рассматриваются в последнем теоретическом разделе данной главы (п. 3.55), установлено, что для получения таких же как в Нагасаки избыточных давлений ударной волны в районе эпицентра взрыва высота взрыва для заряда мощностью в 1 килотонну должна быть примерно 204 м, а для заряда мощностью в 1 мегатонну — 2040 м. Во всех этих случаях расстояние, на котором происходит образование фронта головной ударной волны, будет немногим отличаться от соответствующих высот взрыва.

3.28. Следует отметить, что с точки зрения действия ударной волны для какой-либо определенной мощности взрыва не существует одной оптимальной высоты, поскольку выбор высоты взрыва определяется характером цели. Как правило, для разрушения прочных объектов требуется соответствующий воздушный взрыв на небольшой высоте от поверхности земли или наземный взрыв. Для менее прочных целей, которые разрушаются при сравнительно небольших величинах избыточного давления или скоростного напора, высота взрыва может быть увеличена с целью расширения зоны поражения, поскольку при этом необходимая величина избыточного давления и скоростного напора распространится на больший район, нежели при воздушном взрыве на небольшой высоте или при наземном взрыве.

3.29. Изменение характеристик ударной волны в зависимости от расстояния от эпицентра при воздушных взрывах, производимых на различных высотах, наиболее удобно может быть представлено так называемыми кривыми высоты взрыва. Такие кривые подготовлены для различных параметров ударной волны, таких, например, как максимальное избыточное давление, максимальный скоростной напор, время распространения, продолжительность фазы сжатия, и будут рассмотрены ниже. Значения величин этих (или других) параметров для взрывов любой высоты и мощности могут быть определены по кривым путем применения соответствующего закона подобия.

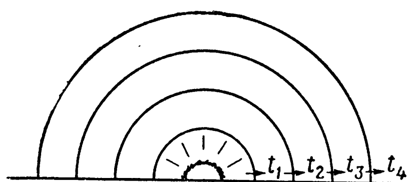


Рис. 3.30. Образование ударной волны при наземном (надводном) взрыве; падающая и отраженная волны составляют единую волну; t_1—t_4 — последовательные моменты времени

Контактный (наземный) взрыв

3.30. Общие параметры ударной волны, образующейся при контактном (наземном, надводном) взрыве, несколько отличаются от параметров ударной волны, образующейся при воздушном взрыве. При взрыве на поверхности фронт ударной волны в воздухе имеет полусферическую форму, как показано это для различных моментов времени от t_1 до t_4 на рис. 3.30. При этом взрыве отсутствует зона регулярного отражения ударной волны и все объекты и сооружения на поверхности, расположенные даже близко к эпицентру, испытывают воздействие ударной волны, аналогичное воздействию, которому они подвергаются при воздушном взрыве в зоне нерегулярного отражения ниже траектории тройной точки. Поэтому при рассмотрении действия ударной волны можно считать, что по отношению к большинству сооружений ее фронт будет вертикальным. Массы воздуха, двигающиеся у поверхности за фронтом ударной волны, будут направлены в основном горизонтально.

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ВЗРЫВА НА ПРОЦЕССЫ ОБРАЗОВАНИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЗДУШНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ

Влияние рельефа местности

3.31. При распространении ударной волны на местности с холмистым рельефом может наблюдаться как усиление, так и ослабление ее действия. Изменение максимального избыточного давления зависит от угла наклона холмов и фактической величины самого давления. Увеличение максимального избыточного давления, наблюдаемое у подошвы холма, происходит в результате отражения ударной волны от переднего (фронтального) склона этого холма. Область этого кратковременного увеличения максимального избыточного давления может расширяться, а его действие длиться более продолжительное время, по мере того как волна распространяется вверх к вершине холма. Однако, как только волна достигнет вершины холма и начнет затекать за обратный скат его, происходит уменьшение величины максимального избыточного давления. Давление во фронте ударной волны за обратным скатом нарастает не мгновенно, как в идеальном фронте ударной волны (рис. 3.06), а более постепенно. По мере распространения ударной волны вниз по обратному скату холма фронт волны становится нормальным. В общем, отклонение величины максимального избыточного давления на склонах (скатах) холма от давления на горизонтальной плоскости зависит от размеров холма и его положения по отношению к месту взрыва. Поскольку промежуток времени, в течение которого происходит увеличение или уменьшение давления, невелик по сравнению с длительностью фазы сжатия, можно предположить, что для большого числа типов сооружений влияние местности на действие ударной волны будет незначительным.

3.32. Особенно важно подчеркнуть, что если объект находится за крутым склоном большого холма, то это еще не гарантирует защиту от действия ударной волны. Иными словами, тот факт, что место взрыва не видно из-за холма, ни в коем случае не означает, что действие ударной волны за холмом не будет ощущаться.

В главе 4 будет показано, что ударная волна может легко огибать встречающиеся на пути препятствия.

3.33. Хотя складки местности могут защищать тот или иной объект от действия светового излучения и, возможно, в некоторой степени от действия начального ядерного излучения, не следует, однако, ожидать сколько-нибудь значительного уменьшения действий ударной волны на сооружения, расположенные в складках местности (за исключением особых случаев). В то же время для таких подвижных объектов, как тяжелые строительные машины, можно обеспечить значительную защиту от действия летящих предметов и скоростного напора, разместив их ниже поверхности земли: в открытых карьерах, глубоких траншеях или за крутыми земляными насыпями.

3.34. Влияние городских строений на распространение ударной волны во многом подобно влиянию рельефа местности. Можно ожидать, что наличие большого числа зданий, находящихся вблизи друг от друга, вызовет местные изменения в ударной волне, особенно в величине скоростного напора. Находящиеся на пути распространения ударной волны объекты и сооружения могут привести к ее некоторому ослаблению. С другой стороны, наличие зданий, многократно отражающих ударную волну, и улиц, представляющих собой каналы для ее распространения, ведет к увеличению избыточного давления и скоростного напора. Поэтому в целом влияние городского комплекса на разрушающее действие ударной волны предсказать трудно.

Влияние метеорологических условий

3.35. Наличие большого количества влаги в атмосфере может повлиять на параметры слабой ударной волны. Однако вероятность распространения волны при таких значительных концентрациях влаги в атмосфере, которые могли бы повлиять на разрушающее действие ударной волны, следует считать небольшой.

Метеорологические условия, тем не менее, могут иногда либо увеличивать, либо сокращать район, в котором обычно ожидаются небольшие повреждения сооружений. Например, повреждение окон происходит обычно в сотнях километров от центра взрыва. Подобные явления, наблюдавшиеся при взрывах большого количества обычных взрывчатых веществ, а также при ядерных взрывах, происходят в результате отражения ударной волны от атмосферы к земле.

3.36. Известны четыре общих условия, влияющих на параметры ударной волны. Во-первых, это температурная инверсия у поверхности земли, когда температура возрастает по мере увеличения высоты. Причиной инверсии может служить охлаждение поверхности земли в ночное время за счет теплоотдачи или движения масс теплого воздуха над сравнительно холодной поверхностью. При наличии инверсии на поверхности земли наблюдается избыточное давление выше обычного. Наоборот, когда преобладают неустойчивые условия и температура с увеличением высоты уменьшается, как это происходит после полудня или в тропических условиях, ударная волна распространяется вверх, отталкиваясь от поверхности земли. Избыточное давление в ударной волне падает с расстоянием быстрее, нежели при изотермических условиях.

3.37. Второе условие связано с наличием быстро движущихся воздушных масс. Если скорость ветра возрастает по мере увеличения высоты примерно на 5 км/час через каждые 300 м, а температура воздуха при этом уменьшается (что обычно наблюдается в дневное время), то ударная волна будет отклоняться к земной поверхности. Это обычно происходит на высотах 7500—15 000 м, где скорость ветров струйного течения достигает максимальной величины. Отмеченное явление может привести к концентрации энергии ударной волны в каком-либо районе (фокусе) земной поверхности. Первый район концентрации энергии ударной волны может находиться в 32—80 км от центра взрыва. Поскольку ударная волна отражается от поверхности земли, а затем вновь посылается атмосферой к поверхности земли, этот процесс может повторяться несколько раз через определенные отрезки расстояния. При взрыве мощностью 20 килотонн, произведенном на полигоне в штате Невада, в результате этого явления оконные стекла были выбиты в зданиях, находившихся на расстоянии до 120 — 160 км от места взрыва.

3.38. Отклонение ударных волн может быть также вызвано слоем сравнительно теплого воздуха, называемого ионосферой, на высоте от 32 до 48 км. На этих высотах ветры зимой дуют с запада, а летом с востока, способствуя распространению ударной волны и звука взрыва до расстояний примерно 110—240 км от центра взрыва. Отражение ударной волны от поверхности земли и последующее ее отражение озоносферой приводят к повторению процесса концентрации энергии ударной волны в определенных районах на поверхности. Эти явления при взрыве мощностью 17 килотонн приводили к выбиванию оконных стекол в районе второй концентрации (во втором фокусе) на расстоянии 456 км от места взрыва. Взрывы большой мощности были отчетливо слышны даже на больших расстояниях[1].

3.39. Четвертое условие создается ввиду исключительно высокой температуры в ионосфере на высоте более 96 км. Вообще звуки, возвращаемые ионосферой, обычно слышны в направлении, противоположном основным сигналам ионосферы, и на расстоянии более 192 км от места взрыва. При распространении ионосферных сигналов по ветру дальность их слышимости увеличивается, а при распространении против ветра — сокращается. Более того,

[1] Условия, описанные в этом пункте и в пункте 3.39, можно также рассматривать как температурную инверсию.

поскольку большая часть энергии ударной волны поглощается при прохождении воздушных слоев исключительно низкой плотности на таких больших высотах, ионосферные сигналы не причиняют повреждений. Однако, проходя через слои воздуха с низким давлением, волны ведут себя как удары и создают очень резкие увеличения давления, хотя они и имеют небольшую амплитуду. Даже когда они возвращаются на землю в результате рефракции, они легко слышны, как резкие хлопки и треск.

Влияние высоты

3.40. На зависимости между избыточным давлением, расстоянием и временем распространения ударной волны в воздухе оказывают влияние условия окружающей атмосферы; последние же сами меняются в зависимости от высоты. При рассмотрении влияния высоты на образование и распространение ударной волны следует остановиться на двух случаях: 1) цель и центр взрыва практически находятся на одной высоте; 2) центр взрыва и цель находятся на разных высотах.

3.41. При наземном взрыве максимальное избыточное давление на данном расстоянии от центра взрыва зависит от атмосферного давления, а последнее изменяется с изменением высоты. В п. 3.59 будут даны простейшие поправочные коэффициенты, позволяющие учесть различия в окружающих условиях, однако пока можно сделать общие выводы. С увеличением высоты взрыва и цели избыточное давление на данном расстоянии от места взрыва в общем уменьшается. Соответственно можно ожидать увеличения времени распространения ударной волны и действия фазы сжатия. Для высот менее 1500 м над уровнем моря изменения указанных параметров ударной волны сравнительно небольшие, и поскольку большинство наземных целей обычно находятся на более низких высотах, то поправки на изменения условий среды приходится делать редко.

3.42. Когда центр взрыва и цель расположены на разных высотах, как, например, при воздушном взрыве на большой высоте, действие ударной волны носит более сложный характер. Поскольку на ударную волну оказывают влияние температура воздуха и начальное давление в среде, через которую она проходит, можно ожидать некоторые изменения во взаимозависимости величин избыточного давления и расстояния от места взрыва на поверхности земли. В пределах зоны значительных разрушений для взрывов небольшой мощности отклонения несущественны. Для взрывов большой мощности, когда ударная волна распространяется на значительно большие расстояния, ввиду влияния температурных инверсий и явления отражения, можно ожидать значительных отклонений от указанной выше зависимости избыточного давления от расстояния. Следовательно, для точных расчетов необходимо иметь подробные данные об атмосферных условиях

на день взрыва. При планировании применения ядерного оружия условия окружающей атмосферы на высоте нахождения цели учитываются для определения поправочного коэффициента только когда эта цель находится на значительной высоте над уровнем моря.

Влияние поверхности

3.43. В зависимости от характера поверхности, над которой производится взрыв определенной мощности на определенной высоте, могут изменяться некоторые характеристики ударной волны. Эти изменения зависят главным образом от характера и площади поверхности, над которой распространяется ударная волна. Например, характер отражающей поверхности и ее неровность могут влиять на величину максимального избыточного давления ударной волны равно как на образование и развитие фронта головной ударной волны. В целом воздействие этих факторов на ударную волну и их влияние на общее разрушающее действие небольшое. Результаты, приводимые ниже в данной главе, даны для примерно идеальных (или почти идеальных) условий поверхности. Однако, если поверхность пыльная, характер ударной волны может измениться в результате образования вспомогательной волны, называемой предвестником, поскольку она предшествует главной падающей волне. Это явление, связанное с распространением ударной волны в неидеальных условиях, будет рассмотрено более подробно в п. 3.72.

3.44. Характер поверхности оказывает известное влияние на степень повреждений, образующихся в результате ударов летящих предметов, увлекаемых ударной волной. Разрушения могут причиняться такими летящими предметами, как обломки скал, камни, галька, равно как и более мелкими частицами, например песком и пылью. Эти отдельные летящие предметы, увлекаемые движущейся ударной волной, не обязательно влияют на величину избыточного давления на фронте ударной волны. В районах с большим количеством пыли ударная волна может увлечь с собой такое количество пыли, которое увеличит скоростной напор до величины, обычно соответствующей величине избыточного давления идеальной ударной волны.

При наличии вспомогательной волны (предвестника) может иметь место также увеличение скорости движения частиц воздуха в ударной волне. Поэтому воздействие на сооружения, обычно разрушаемые главным образом скоростным напором, соответственно усилится, особенно в районах, где образуется сильная вспомогательная волна (предвестник).

Волна сжатия в грунте при воздушном взрыве

3.45. Одним из аспектов действия ударной волны является возможное воздействие воздушного взрыва на подземные сооружения в результате преломления ударной волны в грунт. При этом на-

блюдается небольшое колебание поверхности и происходит сотрясение грунта под действием волны сжатия. Параметры волны сжатия в любой точке определяются величиной избыточного давления воздушной ударной волны непосредственно над данной точкой и ее удалением от поверхности земли. Ударная волна с большим избыточным давлением и длительной фазой сжатия проникает на значительную глубину в грунт, но более слабые ударные волны с более короткой фазой сжатия затухают быстрее. При этом основная составляющая усилия, передаваемого в грунт, будет направлена почти вертикально и равна приблизительно величине избыточного давления ударной волны. Эти явления будут рассмотрены более подробно в главе 6.

3.46. При воздушных взрывах на больших высотах, когда на поверхности создается сравнительно небольшое давление ударной волны, в грунте возникает весьма слабая волна сжатия. Однако, если избыточное давление на поверхности большое, подземные сооружения могут получить повреждения. Если даже сооружение достаточно прочное и может выдержать воздействие волны сжатия, то в результате резкого сотрясения от удара могут пострадать люди, находящиеся в этом сооружении, и может получить повреждение плохо закрепленное оборудование. Некоторые коммунальные сооружения, например канализационные и другие линии, изготовленные из сравнительно твердых материалов и проложенные на малой глубине, могут быть повреждены в результате смещения грунта, однако эластичные металлические трубы, как правило, повреждениям не подвергнутся. При наземном взрыве, сопровождающемся образованием воронки, картина будет иной (гл. 6).

ПАРАМЕТРЫ ВОЗДУШНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ

Свойства ударной волны

3.47. В предыдущих разделах данной главы были рассмотрены характеристики ударной волны с точки зрения качественной их оценки. Последующие разделы будут посвящены разбору некоторых количественных аспектов действия ударной волны в воздухе. Основные соотношения между параметрами ударной волны, имеющей резко выраженный фронт, на котором происходит разрыв непрерывности давления, получаются из условий Ренкина — Гюгонио, основанных на законах сохранения массы, энергии и количества движения. Эти условия вместе с уравнением состояния воздуха позволяют вывести необходимые зависимости, касающиеся скорости движения фронта ударной волны, скорости движения массы воздуха за фронтом, избыточного давления, скоростного напора и плотности воздуха во фронте идеальной ударной волны.

3.48. Параметры ударной волны в зоне регулярного отражения (ближняя зона распространения) достаточно сложны и зависят

от угла падения волны и ее избыточного давления. При взрыве на поверхности (контактный взрыв), когда образуется одна полусферическая волна, как указано в п. 3.30, и в зоне нерегулярного отражения, ниже траектории тройной точки при воздушном взрыве, параметры ударной волны связаны уравнениями Ренкина — Гюгонио. Именно для этих условий, когда имеется лишь один фронт ударной волны, применимы следующие выводы.

3.49. Скорость фронта ударной волны U выражается формулой

$$U = C_0\left(1 + \frac{\gamma+1}{2\gamma}\cdot\frac{p}{P_0}\right)^{1/2},$$

где C_0 — скорость звука в окружающей среде (впереди фронта ударной волны);

p — максимальное избыточное давление во фронте ударной волны;

P_0 — давление окружающей среды (перед фронтом ударной волны);

γ — отношение теплоемкостей при данных температурах.

Если γ равно 1,4, что характерно для средних температур, скорость ударной волны будет равна

$$U = c_0\left(1 + \frac{6p}{7P_0}\right)^{1/2}.$$

Скорость воздуха за фронтом ударной волны u равняется

$$u = \frac{c_0 p}{\gamma P_0}\left(1 + \frac{\gamma+1}{2\gamma}\cdot\frac{p}{P_0}\right)^{-1/2}$$

и для воздуха, таким образом,

$$u = \frac{5p}{7P_0}\cdot\frac{c_0}{(1+6p/7P_0)^{1/2}}.$$

Плотность воздуха за фронтом волны ρ относится к начальной плотности воздуха ρ_0 окружающей атмосферы, как

$$\frac{\rho}{\rho_0} = \frac{2\gamma P_0 + (\gamma+1)p}{2\gamma P_0 + (\gamma-1)p} = \frac{7 + 6p/P_0}{7 + p/P_0}.$$

Скоростной напор q определяется выражением

$$q = {}^1/_2\,\rho u^2.$$

Введя соответствующие эквиваленты из уравнений Ренкина — Гюгонио, получаем следующее выражение

$$q = \frac{p^2}{2\gamma P_0 + (\gamma-1)p} = \frac{5}{2}\cdot\frac{p^2}{7P_0 + p}. \qquad (3.49.1)$$

Изменение скорости распространения ударной волны, скорости воздуха и максимального скоростного напора в зависимости от величины максимального избыточного давления для случая на-

чальных параметров атмосферы по МСА, выводимое из приведенных выше уравнений, графически показано на рис. 3.49.

3.50. Если направление распространения ударной волны перпендикулярно лобовой поверхности сооружения, то при достижении

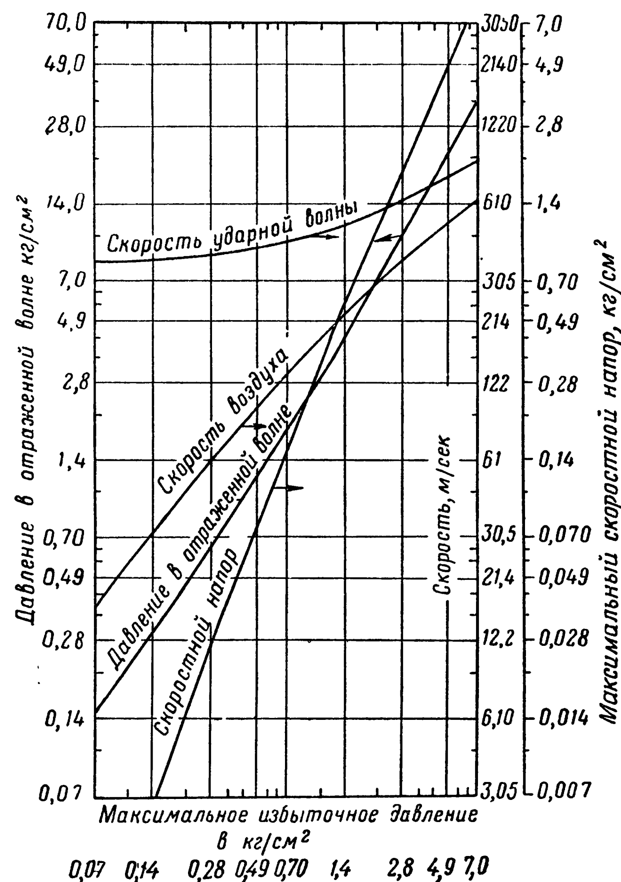


Рис. 3.49. Зависимость параметров ударной волны во фронте от величины максимального избыточного давления

волной этой поверхности мгновенная величина давления отражения p_r будет равна

$$p_r = 2p + (\gamma + 1)\,q. \qquad (3.50.1)$$

Используя равенство (3.49.1) для воздуха, получаем

$$p_r = 2p\left(\frac{7P_0 + 4p}{7P_0 + p}\right). \qquad (3.50.2)$$

Из уравнения (3.50.2) можно видеть, что величина p_r приближается к величине $8p$ для больших значений избыточного давления и скоростного напора падающей волны и стремится к $2p$ для малых значений избыточного давления и скоростного напора. Из уравнения (3.50.1) видно, что увеличение избыточного давления в отраженной ударной волне на величину вдвое большую, чем ожидаемое давление в падающей волне, происходит в результате действия скоростного напора. Увеличение давления в отраженной волне происходит от изменения направления движения, которое происходит, когда фронт падающей волны достигает поверхности земли. Кривая, показывающая изменение мгновенной величины избыточного давления в отраженной ударной волне в зависимости от величины избыточного давления в падающей ударной волне, приведена на рис. 3.49.

3.51. Уравнения, приведенные в п. 3.49, определяют максимальные величины различных параметров во фронте ударной волны. Однако, как было показано выше, избыточное давление и скоростной напор со временем уменьшаются, хотя и разными темпами. Изменение избыточного давления, не превышающего 0,7 кг/см², в зависимости от времени в данной точке за фронтом ударной волны может быть с достаточной точностью представлено простым эмпирическим выражением

$$p(t) = p\left(1 - \frac{t}{t_+}\right)e^{-t/t_+}, \qquad (3.51.1)$$

где $p(t)$ — избыточное давление в любой момент времени t после прихода фронта ударной волны в данную точку;
p — максимальное избыточное давление;
t_+ — продолжительность фазы сжатия ударной волны.

В случае взаимодействия ударной волны с сооружением это уравнение используется для определения нагрузки от ударной волны как функции времени для низких величин избыточного давления.

3.52. Строго говоря, скорость затухания приведенного избыточного давления за фронтом ударной волны зависит от максимального избыточного давления. Это может быть выражено математически рядом экспоненциальных уравнений, по форме подобных эмпирическому выражению (3.51.1). Ряд таких уравнений графически представлен на рис. 3.52, который показывает как приведенное избыточное давление, т. е. давление в любой момент времени, отнесенное к максимальному избыточному давлению, изменяется в зависимости от приведенного времени, т. е. времени, отнесенного к продолжительности фазы сжатия.

3.53. Изменение небольшого по величине максимального скоростного напора в зависимости от времени в данной точке за фронтом ударной волны с достаточной точностью может быть представлено эмпирическим выражением, подобным (3.51.1). Так,

$$q(t) = q\left(1 - \frac{t}{t_+}\right)^2 e^{-2t/t_+},$$

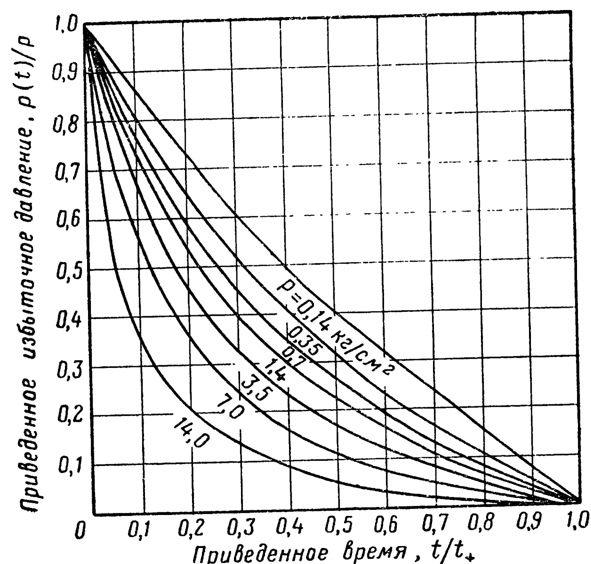


Рис. 3.52. Зависимость степени ослабления давления от времени для различных величин максимального избыточного давления

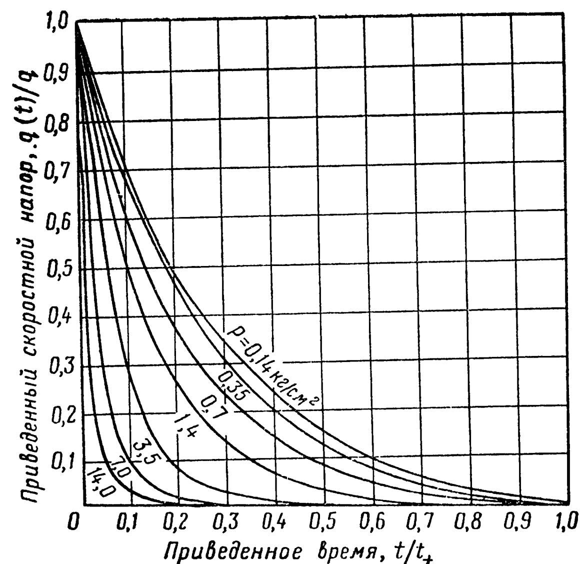


Рис. 3.53. Зависимость степени ослабления скоростного напора от времени для различных величин максимального избыточного давления

где $q(t)$ — скоростной напор в любое время t после прихода фронта ударной волны в данную точку;

q — максимальный скоростной напор.

Однако так же, как и в случае с избыточным давлением, скорость затухания приведенного скоростного напора зависит от избыточного давления.

Это показано кривыми на рис. 3.53. Показатели времени на этом рисунке приведены соответственно продолжительности действия фазы сжатия скоростного напора, которая несколько больше аналогичной фазы избыточного давления (п. 3.16 и 3.69).

3.54. Другим важным параметром, определяющим степень разрушения, является импульс, который учитывает продолжительность действия фазы сжатия и изменение избыточного давления в течение этого времени. Величина импульса может быть определена как суммарная площадь под кривой изменения избыточного давления во времени для данной точки, показанной на рис. 3.52. Следовательно, удельный импульс избыточного давления фазы сжатия I (на единицу площади) может быть математически представлен как

$$I = \int_{0}^{t_{+}} p(t)\,dt,$$

где $p(t)$ может быть представлено аналитически при помощи выражения (3.51.1). Импульс скоростного напора может быть определен с помощью аналогичного выражения, в котором $p(t)$ заменяется $q(t)$.

Закон подобия

3.55. Для вычисления параметров ударной волны, образующейся при ядерном взрыве любой заданной мощности, если известны соответствующие параметры взрыва другой мощности, используется закон подобия. При помощи этого закона в простой форме можно выразить данные для большого диапазона мощностей. Одним из способов, который будет рассмотрен ниже, является построение кривых, показывающих, как изменяются различные параметры ударной волны у поверхности с увеличением расстояния от центра взрыва при ядерном взрыве мощностью в 1 килотонну. С помощью закона подобия можно легко определить параметры ударной волны для взрыва любой мощности, произведенного на определенной высоте.

3.56. Теоретически расстояние от центра взрыва, на котором образуется данное давление, пропорционально кубическому корню из мощности взрыва. Испытания показали, что подобная зависимость между расстоянием и мощностью взрыва является закономерностью для взрывов мощностью до мегатонного диапазона включительно. Таким образом, закон кубического корня может

быть с уверенностью применен для широкого диапазона мощностей ядерных взрывов. Согласно этому закону, если D_1 — расстояние от эталонного взрыва мощностью в W_1 килотонн, на котором избыточное давление или скоростной напор имеют определенную величину, то при взрыве мощностью в W килотонн соответствующие величины избыточного давления и скоростного напора будут иметь место на расстоянии D, что определяется из выражения

$$\frac{D}{D_1}=\left(\frac{W}{W_1}\right)^{1/3}. \qquad (3.56.1)$$

Как указывалось выше, в качестве эталонного взрыва взят взрыв мощностью в 1 килотонну, при котором W_1 равняется 1. Из уравнения (3.56.1) следует

$$D=D_1\cdot W^{1/3}, \qquad (3.56.2)$$

где D_1 — расстояние от центра взрыва мощностью в 1 килотонну. Следовательно, если расстояние D известно, то можно вычислить мощность взрыва W, необходимую для того, чтобы образовалось определенное избыточное давление. Или, наоборот, если мощность взрыва W известна, то из уравнения (3.56.2) можно вычислить соответствующее расстояние.

3.57. При сравнении воздушных взрывов различной мощности целесообразно ввести приведенную высоту взрыва, определяемую соотношением

$$\text{приведенная высота взрыва}=\frac{\text{действительная высота взрыва}}{W^{1/3}}.$$

Таким образом, легко можно видеть, что для взрывов различной мощности, имеющих одну и ту же приведенную высоту, закон кубического корня может применяться как для определения расстояний от эпицентра, так и расстояний от центра взрыва. Так, например, если d_1 — расстояние от эпицентра, на котором при взрыве мощностью в 1 килотонну создается определенное избыточное или динамическое давление, то при взрыве мощностью W килотонн это же давление будет наблюдаться на расстоянии от эпицентра, определяемом выражением

$$d=d_1\cdot W^{1/3}. \qquad (3.57.1)$$

Это выражение может применяться при вычислениях, указанных выше. Однако необходимо учитывать, что расстояние в данном выражении измеряется от эпицентра, а не от центра взрыва.

3.58. Закон подобия может быть также применен ко времени прихода фронта ударной волны в данную точку, продолжительности фазы сжатия и величине импульса. Соотношения этих величин могут быть выражены в следующей форме:

$$\frac{t}{t_1}=\frac{d}{d_1}=\left(\frac{W}{W_1}\right)^{1/3} \text{ и } \frac{I}{I_1}=\frac{d}{d_1}=\left(\frac{W}{W_1}\right)^{1/3},$$

где t_1 — время прихода ударной волны в данную точку или продолжительность фазы сжатия;

I_1 — импульс избыточного давления в фазе сжатия, относящийся к взрыву эталонной мощности W_1;

t и I — время и импульс, относящиеся к любому взрыву мощностью W;

d_1 и d — расстояния от эпицентра взрыва.

Если $W_1 = 1$ килотонне, то различные величины будут связаны между собой следующим образом:

$$t=t_1\cdot W^{1/3} \text{ на расстоянии } d=d_1\cdot W^{1/3}$$

и

$$I=I_1\cdot W^{1/3} \text{ на расстоянии } d=d_1\cdot W^{1/3}.$$

Примеры использования вышеприведенных выражений будут даны ниже.

Поправки, учитывающие влияние высоты

3.59. Представленные в п. 3.49 выражения для характеристик ударной волны применимы исключительно для однородной атмосферы параметрами по МСА. Для взрывов, производимых на высоте до 1500 м, это условие действительно и приведенные выше уравнения закона подобия могут использоваться. Если же необходимо определить параметры ударной волны на высотах, где условия окружающей атмосферы отличаются от атмосферных условий на уровне моря, необходимо использовать поправочный коэффициент, указанный в п. 3.41.

3.60. Ниже даны общие выражения, учитывающие влияние начальной температуры и плотности атмосферы на параметры ударной волны. Для избыточного давления

$$p=p_1\cdot\frac{p_H}{p_0},$$

где p — избыточное давление на заданной высоте;

p_1 — избыточное давление на уровне моря;

p_0 — атмосферное давление по МСА на уровне моря;

p_H — атмосферное давление на заданной высоте H.

Вычисленное с учетом поправки расстояние для нового избыточного давления составит

$$d=d_1 W^{1/3}\left(\frac{p_0}{p_H}\right)^{1/3},$$

а время прихода ударной волны или продолжительность фазы сжатия на приведенном расстоянии будет определяться выражением

$$t=t_1\cdot W^{1/3}\left(\frac{p_0}{p_H}\right)^{1/3}\left(\frac{T_0}{T}\right)^{1/2}.$$

Для импульса на высоте соответствующим выражением будет

$$I = I_1 \cdot W^{1/3} \left(\frac{p_H}{p_0}\right)^{2/3} \left(\frac{T_0}{T}\right)^{1/2}.$$

Необходимо отметить, что приведенные выше выражения применимы только в тех случаях, когда разница в высоте нахождения точки наблюдения (или цели) и точки взрыва незначительна. Если же эта разница велика, то картина резко меняется, как об этом говорилось в п. 3.42.

3.61. Можно заметить, что когда $T = T_0$ и $p = p_0$, эти выражения становятся идентичными соответствующим выражениям, указанным в п. 3.57 и 3.58 для строго однородных условий. Как правило, величины параметров ударной волны эталонного взрыва (подобно приводимым ниже) даются для стандартных условий атмосферы на уровне моря, где p_0 равно 1,03 кг/см^2 и температура равна 15° С или T_0 = 288° К. Как уже указывалось выше, для взрывов на высоте до 1500 м над уровнем моря эти поправки будут иметь небольшую величину.

3.62. Для указанной выше высоты закон подобия может применяться только при условии, что часть энергии взрыва, идущая на образование ударной волны, примерно такая же, как в условиях, существующих на уровне моря. При взрывах на высотах более 30 000 м эта часть энергии будет меньше (п. 2.119). Механизм образования ударной волны на этих высотах также, по-видимому, изменяется, и закон подобия применять нельзя. В общем, разрушающее действие ударной волны на поверхности земли зависит от мощности взрыва и его высоты. Оба эти фактора влияют на количество энергии, проявляющейся в виде ударной волны, и на ее последующее распространение в неоднородной атмосфере. При взрыве мощностью в 1 мегатонну на высоте 48 км над поверхностью земли максимальное избыточное давление на поверхности земли будет меньше 0,007 кг/см^2, в то время как при взрыве на высоте 1,6 км на расстоянии 48 км от места взрыва избыточное давление будет 0,28 кг/см^2.

Стандартные кривые и вычисление параметров ударной волны

3.63. Для того чтобы оценить степень разрушений, которые можно ожидать на определенном расстоянии от центра взрыва, необходимо определить параметры ударной волны, изменяющиеся в зависимости от времени и расстояния. Поэтому в дополнение к уже приведенному выше общему анализу здесь даются типовые кривые различных параметров ударной волны для различных высот ядерного взрыва. Эти кривые показывают изменение максимального избыточного давления, скоростного напора, времени прихода волны в заданную точку и продолжительности фазы сжатия в зависимости от расстояния от эпицентра для различных высот ядерного взрыва над почти идеальной поверхностью. Подобные кривые могут быть построены также и для других параметров ударной волны, однако кривые, представленные здесь, считаются наиболее нужными. Они используются при расчетах, касающихся городов, а также большого круга других условий.

3.64. По приводимым ниже кривым можно установить величины параметров ударной волны у поверхности земли и использовать полученные данные для определения нагрузок на ту или иную цель и оценить устойчивость последней к действию этих нагрузок.

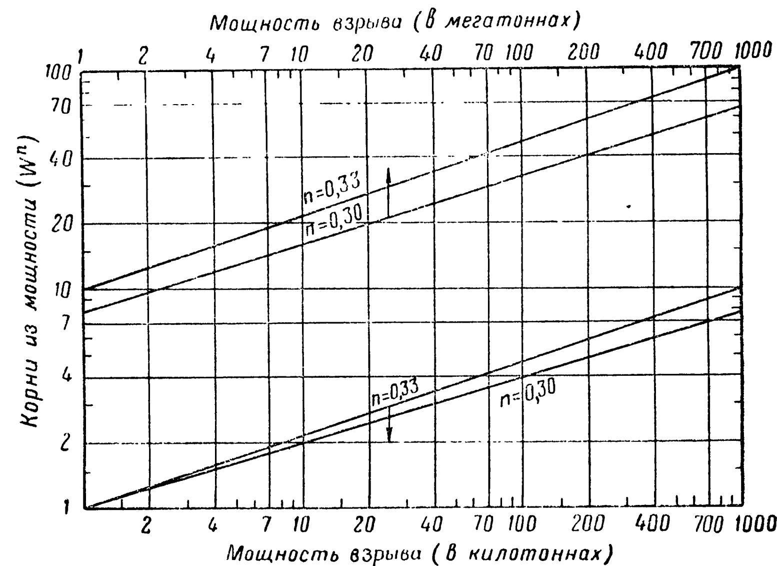


Рис. 3.65. Значения $W^{0,33}$ ($W^{1/3}$) и $W^{0,3}$

Необходимо отметить, что эти данные характеризуют поведение ударной волны при почти идеальных условиях над плоской поверхностью на уровне моря. Отсюда величины максимального избыточного давления и скоростного напора можно рассматривать как основные данные, используемые при определении разрушающего действия ударной волны в различных условиях путем использования методов, которые будут изложены в главе 4.

3.65 Типовые кривые построены для параметров ударной волны взрыва мощностью в 1 килотонну. Примеры, показывающие использование этих кривых, даются последовательно по тексту к каждому рисунку. Для упрощения вычислений на рис. 3.65 приведен график, дающий значение кубического корня ($n = 0,33$), необходимого при применении закона подобия.

3.66. Изменения максимального избыточного давления и скоростного напора в зависимости от расстояния от эпицентра при

контактном (наземном) ядерном взрыве мощностью в 1 килотонну для однородной атмосферы с параметрами по МСА на уровне моря представлены на рис. 3.66 сплошными кривыми. Примерный

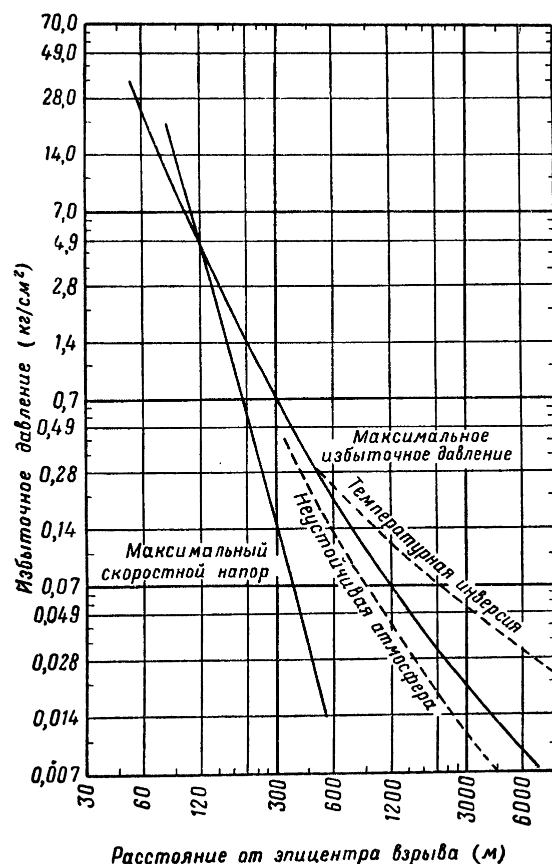


Рис. 3.66. Максимальное избыточное давление и максимальный скоростной напор при наземном (надводном) ядерном взрыве мощностью в 1 килотонну

диапазон величин максимального избыточного давления при различных атмосферных условиях показан на рисунке пунктирными кривыми. При наличии температурной инверсии, т. е. если температура воздуха возрастает с увеличением высоты от поверхности земли, величины давления будут выше средней. При отсутствии температурной инверсии эти величины будут меньше средней.

Кривые на рис. 3.66 показывают изменение избыточного давления и скоростного напора в зависимости от расстояния при на-

земном ядерном взрыве мощностью в 1 килотонну в атмосферных условиях на уровне моря.

Закон подобия. Для взрывов с тротиловым эквивалентом иным, нежели 1 килотонна, расстояние, на котором наблюдается максимальное избыточное давление и скоростной напор, по закону подобия определяется из соотношения

$$d = d_1 \cdot W^{1/3},$$

где для данной величины максимального избыточного давления и скоростного напора d_1 является расстоянием от центра ядерного взрыва мощностью в 1 килотонну, а d — расстоянием от центра взрыва мощностью W килотонн.

Пример.

Дано. Мощность наземного ядерного взрыва 1 мегатонна.

Найти. Расстояние, на котором будет наблюдаться избыточное давление в 0,14 кг/см².

Решение. Из рис. 3.65 находим, что корень кубический из 1000 равен 10. Из рис. 3.66 устанавливаем, что при наземном взрыве мощностью в 1 килотонну максимальное избыточное давление в 0,14 кг/см² будет наблюдаться на расстоянии 750 м. Поэтому для взрыва мощностью в 1 мегатонну

$$d = d_1 \cdot W^{1/3} = 750 \cdot 10 = 7500 \text{ м}.$$

Кривые на рис. 3.67а показывают изменение на поверхности земли максимального избыточного давления в диапазоне высоких давлений в зависимости от расстояния от эпицентра и высоты взрыва при ядерном взрыве мощностью в 1 килотонну в однородной атмосфере с параметрами по МСА на уровне моря. Пунктирная линия отделяет зону регулярного отражения от района нерегулярного отражения и показывает, где образуется тройная точка (п. 3.70). Считается, что эти данные соответствуют почти идеальным условиям местонахождения цели. Влияние поверхности рассматривается в п. 3.13, 3.14 и 3.72.

Закон подобия. Высота взрыва и расстояние от эпицентра, на котором наблюдается данное максимальное избыточное давление, определяются из соотношения

$$\frac{d}{d_1} = \frac{h}{h_1} = W^{1/3},$$

где для данной величины максимального избыточного давления d_1 и h_1 являются соответственно расстоянием от эпицентра и высотой ядерного взрыва мощностью в 1 килотонну, а d и h представляют собой соответствующее расстояние от эпицентра и высоту взрыва мощностью в W килотонн.

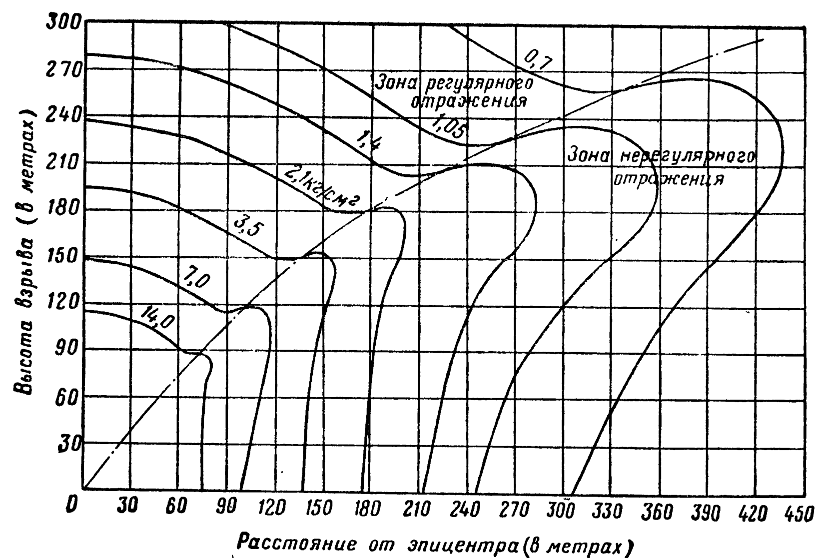


Рис. 3.67а. Максимальное избыточное давление на поверхности земли при ядерном взрыве мощностью в 1 килотонну (диапазон больших величин давления)

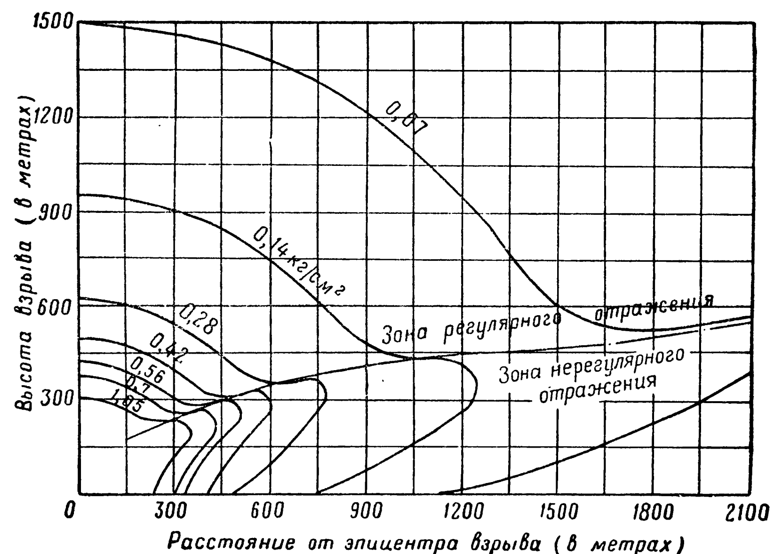


Рис. 3.67б. Максимальное избыточное давление на поверхности земли при ядерном взрыве мощностью в 1 килотонну (диапазон малых величин давления)

Пример.

Дано: Взрыв мощностью 80 килотонн на высоте 774 м.

Найти. Расстояние, на котором будет наблюдаться максимальное избыточное давление в 3,5 кг/см².

Решение. Высота взрыва мощностью в 1 килотонну равняется

$$h_1 = \frac{h}{W^{1/3}} = \frac{774}{(80)^{1/3}} = 180 \text{ м.}$$

Из рис. 3.67а видно, что избыточное давление 3,5 кг/см² при взрыве мощностью в 1 килотонну на высоте 180 м будет действовать на расстоянии 64,5 м. Соответствующее расстояние для взрыва мощностью в 80 килотонн равняется

$$d = d_1 W^{1/3} = 64{,}5 \cdot 4{,}305 = 277{,}5 \text{ м.}$$

Кривые на рис. 3.67б показывают изменение максимального избыточного давления на поверхности земли в диапазоне низкого давления в зависимости от расстояния от эпицентра и высоты взрыва мощностью в 1 килотонну для однородной атмосферы с параметрами по МСА на уровне моря. Пунктирная линия разделяет зону регулярного отражения от зоны нерегулярного отражения и показывает район образования тройной точки (п. 3.20). Считается, что данные соответствуют почти идеальным условиям местонахождения цели. Влияние поверхности рассматривается в п. 3.43, 3.44 и 3.72.

Закон подобия. Высота взрыва и расстояние от эпицентра, на котором действует данное максимальное избыточное давление, определяются из соотношения

$$\frac{d}{d_1} = \frac{h}{h_1} = W^{1/3},$$

где для данного максимального избыточного давления d_1 и h_1 являются соответственно расстоянием от эпицентра и высотой взрыва мощностью в 1 килотонну, а d и h — соответственно расстоянием и высотой взрыва мощностью в W килотонн.

Пример.

Дано. Взрыв мощностью в 80 килотонн на высоте 774 м.

Найти. Расстояние, на котором будет наблюдаться максимальное избыточное давление в 0,28 кг/см².

Решение. Высота ядерного взрыва мощностью в 1 килотонну равняется

$$h_1 = \frac{h}{W^{1/3}} = \frac{774}{(80)^{1/3}} = 180 \text{ м.}$$

Из рис. 3.67б видно, что максимальное избыточное давление 0,28 кг/см² при взрыве мощностью в 1 килотонну на высоте 180 м действует на расстоянии 690 м. Соответствующее расстояние для взрыва в 80 килотонн равняется

$$d = d_1 \cdot W^{1/3} = 690 \cdot (80)^{1/3} = 2970 \text{ м.}$$

Кривые на рис. 3.68 показывают изменение горизонтальной составляющей максимального скоростного напора на поверхности земли как функции расстояния от эпицентра и высоты взрыва мощностью в 1 килотонну для однородной атмосферы с параметрами по МСА на уровне моря. Считается, что данные соответствуют почти идеальным условиям местонахождения цели. Влияние поверхности рассматривается в п. 3.43, 3.44 и 3.72.

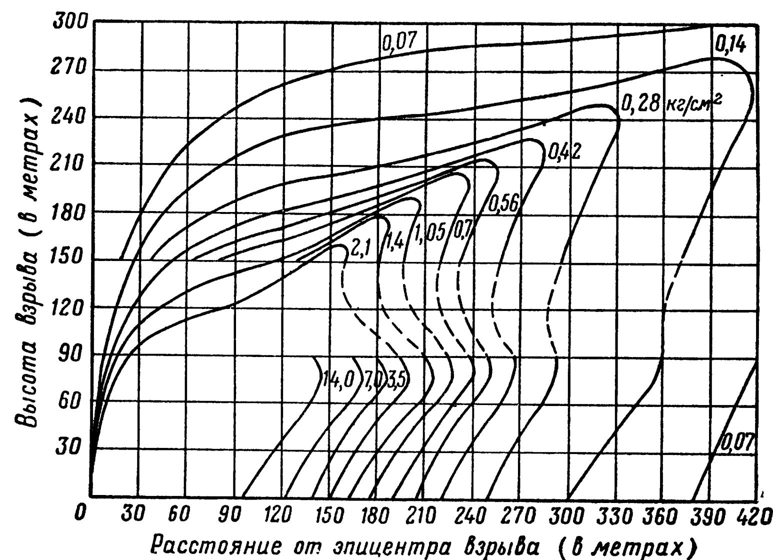


Рис. 3.68. Величина горизонтальной составляющей максимального скоростного напора при ядерном взрыве мощностью в 1 килотонну

Закон подобия. Высота взрыва и расстояние, на котором наблюдается данный максимальный скоростной напор, выражается соотношением

$$\frac{d}{d_1} = \frac{h}{h_1} = W^{1/3},$$

где для данного скоростного напора h_1 и d_1 являются соответственно высотой взрыва и расстоянием от эпицентра при ядерном взрыве мощностью в 1 килотонну, а h и d — соответственно высотой и расстоянием от эпицентра для взрыва мощностью в W килотонн.

Пример.

Дано. Взрыв мощностью в 160 килотонн на высоте 900 м.

Найти. Горизонтальную составляющую максимального скоростного напора на поверхности земли на расстоянии 1800 м.

Решение. Соответствующая высота для взрыва мощностью в 1 килотонну выражается

$$h_1 = \frac{h}{W^{1/3}} = \frac{900}{(160)^{1/3}} = \frac{900}{5{,}42} = 165 \text{ м}.$$

Соответствующее расстояние для взрыва мощностью в 1 килотонну равняется

$$d_1 = \frac{d}{W^{1/3}} = \frac{1800}{(160)^{1/3}} = 332 \text{ м}.$$

Из рис. 3.68 видно, что при расстоянии 332 м и высоте взрыва 165 м горизонтальная составляющая максимального скоростного напора равняется приблизительно 0,21 кг/см².

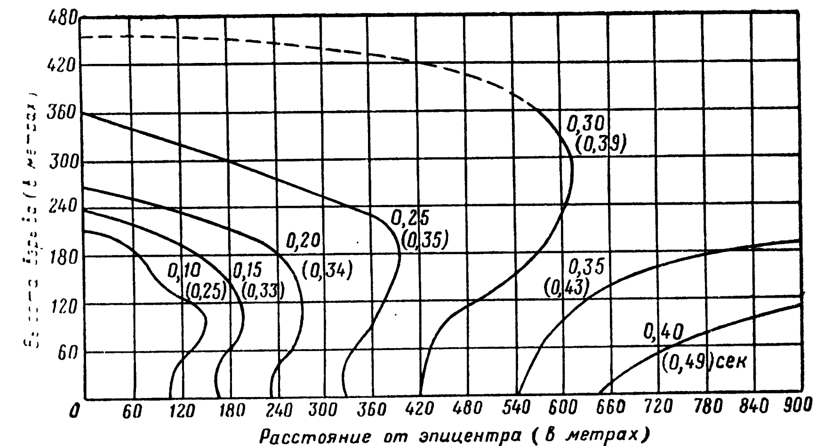


Рис. 3.69. Продолжительность фазы сжатия и скоростного напора (величина дана в скобках) на поверхности земли при ядерном взрыве мощностью в 1 килотонну

Кривые на рис. 3.69 показывают продолжительность фазы сжатия ударной волны и скоростного напора (в скобках) в зависимости от расстояния от эпицентра и высоты при ядерном взрыве мощностью в 1 килотонну для однородной атмосферы с параметрами по МСА на уровне моря. Считается, что данные соответствуют почти идеальным условиям поверхности.

Закон подобия. Необходимые соотношения

$$\frac{d}{d_1} = \frac{h}{h_1} = \frac{t}{t_1} = W^{1/3},$$

где d_1, h_1, t_1 соответственно представляют собой расстояние от эпицентра, высоту взрыва и продолжительность при ядерном взрыве мощностью в 1 килотонну, а d, h и t — соответственно расстояние от эпицентра, высоту взрыва и продолжительность при взрыве мощностью в W килотонн.

Пример.

Дано. Ядерный взрыв мощностью в 160 килотонн на высоте 900 м.

Найти. Продолжительность фазы сжатия на поверхности земли: а) для максимального избыточного давления и б) для скоростного напора на расстоянии 1200 м.

Решение. Соответствующая высота для взрыва мощностью в 1 килотонну равняется

$$h_1 = \frac{h}{W^{1/3}} = \frac{900}{(160)^{1/3}} = 165 \text{ м},$$

а соответствующее расстояние от эпицентра

$$d_1 = \frac{d}{W^{1/3}} = \frac{1200}{5{,}42} = 222 \text{ м}.$$

а) Из рис. 3.69 видно, что продолжительность фазы сжатия при взрыве мощностью в 1 килотонну на расстоянии 222 м от эпицентра и высоте взрыва в 165 м составляет 0,18 сек. Соответствующая продолжительность фазы сжатия при взрыве в 160 килотонн, следовательно, будет составлять

$$t = t_1 \cdot W^{1/3} = 0{,}18 \cdot (160)^{1/3} = 1{,}0 \text{ сек}.$$

б) Из рис. 3.69 видно, что продолжительность действия скоростного напора давления для взрыва мощностью в 1 килотонну на расстоянии 222 м от эпицентра и при высоте взрыва в 165 м составляет 0,34 сек. Соответствующая продолжительность действия максимального скоростного напора при взрыве в 160 килотонн поэтому будет равняться

$$t = t_1 \cdot W^{1/3} = 0{,}34 \cdot (160)^{1/3} = 1{,}8 \text{ сек}.$$

Кривые на рис. 3.70а и 3.70б показывают зависимость времени прихода ударной волны на поверхности земли от расстояния от эпицентра и высоты ядерного взрыва мощностью в 1 килотонну для однородной атмосферы с параметрами по МСА на уровне моря. Считается, что кривые соответствуют почти идеальным условиям поверхности.

Закон подобия. Необходимые соотношения

$$\frac{d}{d_1} = \frac{h}{h_1} = \frac{t}{t_1} = W^{1/3},$$

где d_1, h_1, t_1 представляют собой соответственно расстояние от эпицентра, высоту взрыва и время прихода ударной волны при взрыве мощностью в 1 килотонну, а d, h, t — соответствующие величины расстояния, высоты взрыва и времени прихода ударной волны для взрыва мощностью W килотонн.

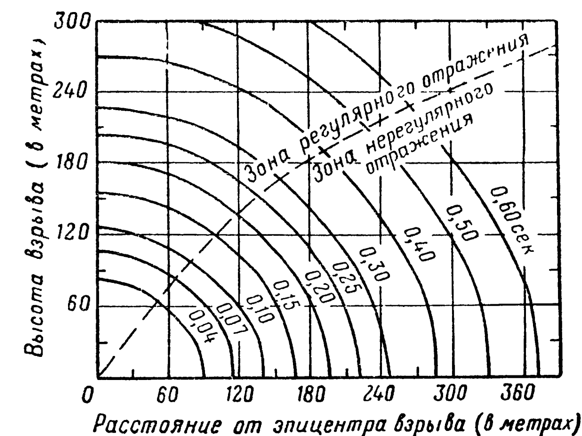


Рис. 3.70а. Время прихода фронта ударной волны при ядерном взрыве мощностью в 1 килотонну (начальный период)

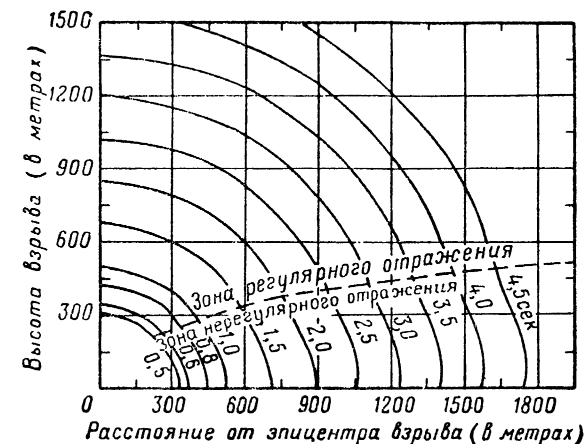


Рис. 3.70б. Время прихода фронта ударной волны при ядерном взрыве мощностью в 1 килотонну (поздний период)

Пример.

Дано. Ядерный взрыв мощностью в 1 мегатонну на высоте 1500 м.

Найти. Время прихода ударной волны в точку, находящуюся на расстоянии 16 км от эпицентра.

Решение. Соответствующая высота для взрыва мощностью в 1 килотонну равняется

$$h_1 = \frac{h}{W^{1/3}} = \frac{1500}{(1000)^{1/3}} = \frac{1500}{10} = 150 \text{ м.}$$

Соответствующее расстояние от эпицентра для взрыва мощностью в 1 килотонну равняется

$$d_1 = \frac{d}{W^{1/3}} = \frac{15{,}8}{(1000)^{1/3}} = 1{,}58 \text{ км.}$$

Из рис. 3.70 видно, что при высоте 150 м и расстоянии от эпицентра 1,58 км время прихода ударной волны при взрыве мощностью в 1 килотонну составляет 4,0 сек. Соответствующее время прибытия ударной волны для ядерного взрыва мощностью в 1 мегатонну будет

$$t = t_1 \cdot W^{1/3} = 4{,}0 \cdot (1000)^{1/3} = 40 \text{ сек.}$$

3.67. Кривые на рис. 3.67а (диапазон высокого давления) и рис. 3.67б (диапазон низкого давления) показывают изменение максимального избыточного давления при воздушном взрыве мощностью в 1 килотонну в зависимости от расстояния от эпицентра и высоты взрыва. Наличие ярко выраженного «колена» в кривых в зоне нерегулярного отражения означает, что для любого избыточного давления имеется оптимальная высота взрыва, при которой дальность распространения этого избыточного давления от эпицентра будет максимальной. Соответствующие данные для взрыва любой другой мощности могут быть получены путем применения закона подобия. Следует отметить, что расстояния на поверхности земли для определенных уровней избыточного давления на рис. 3.66 могут быть взяты из рис. 3.67а и 3.67б, если высоту взрыва принять за нуль. Подобные кривые могут быть получены для любой высоты взрыва путем проведения горизонтальной линии поперек рисунка на нужной высоте взрыва и вычисления расстояния по поверхности земли для определенных значений параметров ударной волны.

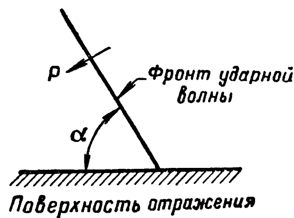


Рис. 3.71а. Угол падения (α) ударной волны с поверхностью отражения

3.68. Кривые на рис. 3.68 показывают изменение горизонтальной составляющей максимального скоростного напора вдоль поверхности земли в зависимости от расстояния от эпицентра

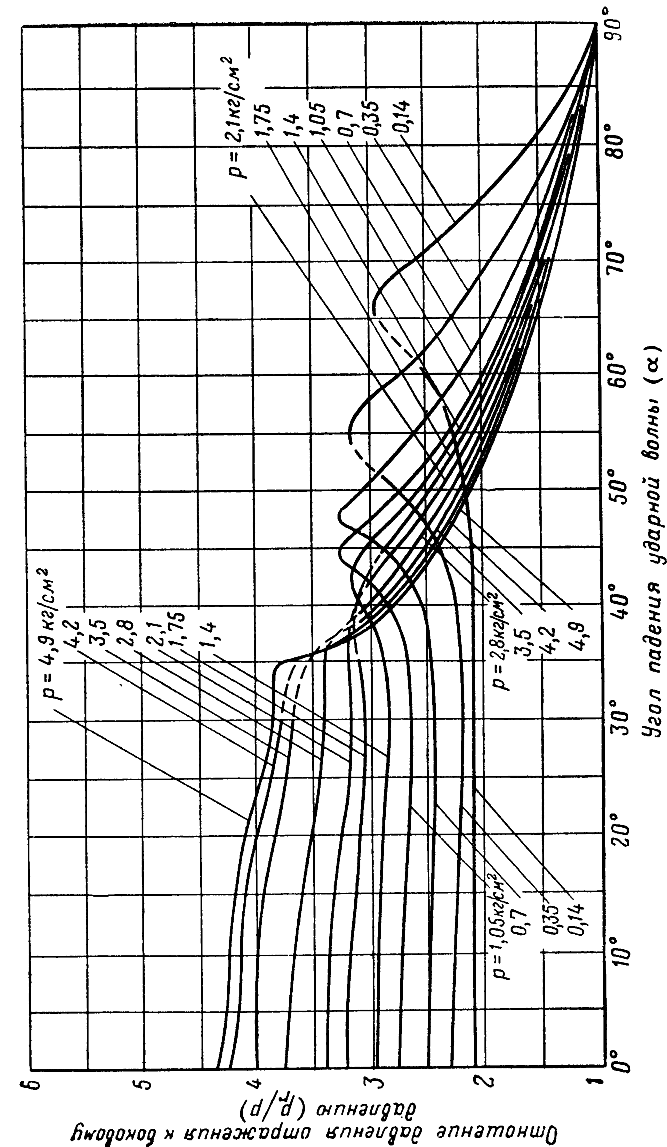


Рис. 3.71б. Зависимость давления отражения от угла падения ударной волны для различных величин бокового давления

и высоты ядерного взрыва мощностью в 1 килотонну для однородной атмосферы по МСА на уровне моря и над почти идеальной поверхностью. Принимая высоту взрыва за нуль, можно получить данные рис. 3.66 о максимальном скоростном напоре при наземном взрыве.

3.69. Кривые на рис. 3.69 показывают зависимость продолжительности фазы сжатия избыточного давления и скоростного напора от расстояния от эпицентра и высоты взрыва; значения продолжительности действия скоростного напора даны в скобках. Как и в других случаях, полученные данные применяются к ядерному взрыву мощностью в 1 килотонну в однородной атмосфере с параметрами по МСА на уровне моря над почти идеальной поверхностью. Как указывалось выше, продолжительность фазы сжатия скоростного напора больше продолжительности фазы сжатия избыточного давления.

3.70. Кривые на рис. 3.70а и 3.70б показывают изменение времени прихода фронта ударной волны на поверхности земли на различных расстояниях от эпицентра в зависимости от высоты ядерного взрыва мощностью в 1 килотонну в однородной атмосфере с параметрами по МСА на уровне моря над почти идеальной поверхностью.

3.71. Величины максимального избыточного давления, показанные на рис. 3.66, 3.67а и 3.67б, наблюдаются на поверхности земли или около нее после того как произойдет отражение ударной волны. Эти величины максимального избыточного давления рассматриваются как величины бокового избыточного давления, используемые для определения нагрузок на сооружения и устойчивости последних. Однако возможно дальнейшее отражение ударной волны, когда она достигает фасада сооружения. Сила давления отражения $p_{r(\alpha)}$ зависит от бокового давления p и угла α, образуемого между фронтом ударной волны и поверхностью, подвергающейся удару (рис. 3.71а). Значения отношения $p_{r(\alpha)}/p$ как функции угла падения для различных величин бокового давления даны на рис. 3.71б. Как видно, если угол падения равен нулю $\alpha = 0$, то отношение $p_{r(\alpha)}/p$ равняется примерно 2 при низких величинах избыточного давления и с увеличением последнего увеличивается (п. 3.50). Кривые на рис. 3.71б, в частности, применимы для зоны нерегулярного отражения, где в основном вертикально движущийся фронт ударной волны, распространяясь радиально, воздействует на такую отражающую поверхность, как, например, фасад сооружения (рис. 4.08).

На рис. 3.71б показана зависимость отношения отраженного избыточного давления $p_{r(\alpha)}$ к начальному избыточному давлению p от величины угла падения фронта ударной волны. Данные применимы к фронту ударной волны, воздействующему на отражающую поверхность типа стены сооружения.

$p_{r(\alpha)}$ — отраженное избыточное давление ударной волны для данного угла падения (кг/см²);

p — начальное максимальное избыточное давление в падающей волне (кг/см²);

α — угол, образуемый фронтом падающей ударной волны и отражающей поверхностью (в градусах).

Пример.

Дано. Ударная волна с начальным максимальным избыточным давлением в 2,1 кг/см² падает на поверхность под углом 35°.

Найти. Избыточное давление отраженной волны.

Решение. Из рис. 3.71б видно, что отношение отраженного избыточного давления к начальному избыточному давлению $p_{r(\alpha)}/p$ при $p = 2{,}1$ кг/см² и угле падения 35° равняется 3,2. Отсюда

$$p_{r(35°)} = 3{,}2p = 3{,}2 \cdot 2{,}1 = 6{,}72 \text{ кг/см}^2.$$

Предвестник (вспомогательная волна)

3.72. Вышеизложенные данные относились к действию ударной волны в идеальных или почти идеальных условиях, при которых могут быть применены уравнения Ренкина — Гюгонио. Однако при определенных обстоятельствах характер поверхности может оказаться далеко не идеальным. При ядерном взрыве над такой теплопоглощающей поверхностью, как пустыня, кораллы или асфальт, в результате интенсивного светового излучения у поверхности создается теплый слой воздуха, обычно называемый тепловым слоем. Тепловой слой, часто включающий в себя дым, пыль и массу других мелких частиц, образуется до прихода ударной волны, и взаимодействие последней с нагретым слоем может в значительной степени повлиять на процесс отражения. При соответствующем сочетании мощности ядерного взрыва небольшой высоты, на которой происходит взрыв, и теплопоглощающих поверхностей создается вспомогательная ударная волна, называемая предвестником. На ограниченном расстоянии эта волна двигается перед основной падающей волной. В районе действия предвестника обычные характеристики ударной волны могут претерпевать большие изменения. В частности, давление во фронте ударной волны нарастает постепенно, причем максимальное избыточное давление достигает меньшей, нежели в идеальных условиях распространения волны, величины, а затухание давления с расстоянием происходит иначе. Более того, обычные для фронта ударной волны отношения Ренкина — Гюгонио здесь уже неприменимы. В силу сказанного зона действия вспомогательной волны считается не идеальной.

3.73. Необходимо отметить, что над поверхностями, лишенными пыли и отражающими тепло, такими, как бетон, лед, снег или вода, образования предвестника (вспомогательной волны)

ожидать не следует. Более того, при наземных взрывах или взрывах на большой высоте независимо от мощности этих взрывов и типа поверхности тепловое воздействие на ударную волну очень незначительно. Поэтому можно предположить, что во многих случаях, особенно в городских районах, будут преобладать почти идеальные условия распространения ударной волны.

3.74. По этой причине кривые высоты взрыва для различных параметров ударной волны применимы при наличии почти идеальных условий. Однако следует заметить, что полученные эмпирическим путем во время испытаний на полигоне в штате Невада данные о зоне действия вспомогательной волны при взрывах на небольших высотах показывают, какие особенности имеет ударная волна и какие разрушения она может принести в условиях, отличающихся от идеальных. В таких случаях величины максимального избыточного и динамического давлений не поддаются вычислению с помощью уравнений (3.49.1). Избыточное давление, по существу, приобретает необычную форму, и его нарастание до максимального идет медленнее, нежели при идеальных условиях. Как следствие, максимальная величина отраженного давления на поверхность объекта, подвергающегося воздействию ударной волны, может превысить максимальную величину давления в падающей волне не более чем в два раза, в то время как при идеальных условиях распространения ударной волны теоретически возможно, что величина отраженного давления будет превышать величину давления падающей волны в большее число раз (уравнение 3.50.2). Подобным же образом скоростной напор будет носить необычный характер; однако по причинам, изложенным в п. 3.44, максимальная величина скоростного напора может быть в несколько раз больше величины, исчисляемой при помощи уравнения Ренкина — Гюгонио в зависимости от величины максимального избыточного давления. Таким образом, повреждение сооружений и их смещение под воздействием скоростного напора в зоне действия предвестника (вспомогательной волны) для данной величины максимального избыточного давления могут быть значительно большими, нежели при условиях, приближенных к идеальным.

ГЛАВА 4

НАГРУЗКИ ОТ ВОЗДУШНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ И РЕАКЦИЯ СООРУЖЕНИЙ

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ УДАРНОЙ ВОЛНЫ С СООРУЖЕНИЯМИ

Введение

4.01. В предыдущей главе были рассмотрены явления, связанные с действием воздушной ударной волны. В настоящей главе на основе уже рассмотренных данных основное внимание уделяется взаимодействию воздушной ударной волны с сооружениями, а также факторам, оказывающим влияние на ответную реакцию этих сооружений на воздействие ударной волны. Приводятся также характеристики разрушений (повреждений) различных типов сооружений, и рассматривается зависимость между степенью разрушений (повреждений) и расстоянием от эпицентра ядерного взрыва различной мощности, на котором эти разрушения (повреждения) происходят. Кроме того, в главе предлагаются некоторые методы количественного расчета нагрузок на сооружения и определения их продолжительности.

4.02. Общие выводы относительно ожидаемого действия ядерных взрывов на различные сооружения излагаются в виде номограмм (см. рис. 4.58а и 4.58б). Данные, указанные в этих номограммах, получены на основе сопоставления теоретических расчетов с результатами лабораторных исследований и действительных ядерных взрывов, осуществленных как в Японии, так и во время различных испытаний ядерного оружия. Однако ввиду разнообразия комплексов сооружений, особенно городских, не представляется возможным точно предсказать характер действия ударной волны на эти сооружения. Даже если такое предсказание уже сделано, невозможно ручаться за его точность в условиях любой заданной обстановки. Тем не менее, оценивая соответствующим образом имеющиеся данные, вполне возможно использовать их для практических целей. Приводимые в данной главе выводы наиболее применимы к усредненным условиям, которые могут встретиться на реальных комплексах сооружений.

которое обусловливает защитное действие грунтовой обсыпки (п. 4.44). При величине отношения глубины заложения к пролету сооружения, равной 0,25—3,0, в большинстве грунтов происходит небольшое ослабление давления воздушной ударной волны, действующего на поверхность обсыпки сооружения. В результате ядерных испытаний, проведенных в штате Невада, установлено,

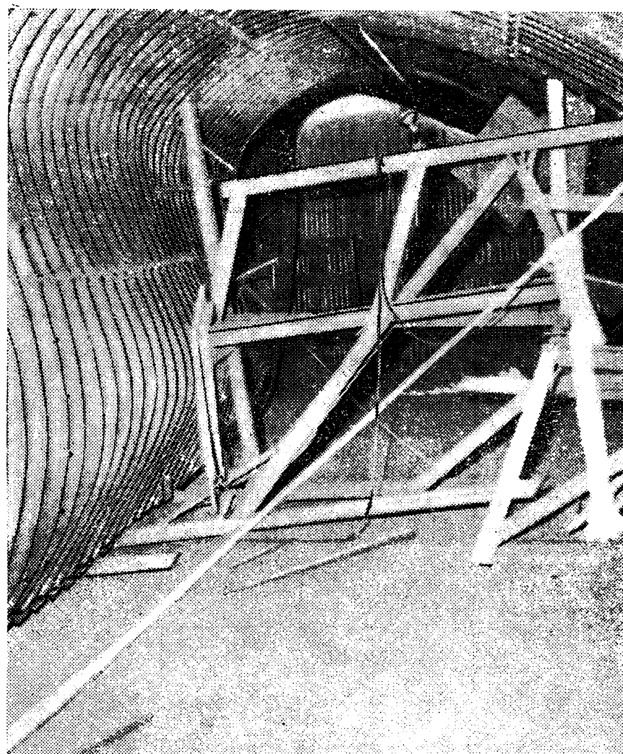


Рис. 4.46. Сильные повреждения сооружения из волнистой стали с грунтовой обсыпкой

что, по-видимому, не происходит увеличения давления на сооружение вследствие отражения волны сжатия от обсыпки сооружения.

4.43. Величина горизонтальной составляющей давления волны сжатия, действующего на вертикальные стены сооружения, возведенного в сухом, хорошо утрамбованном илистом грунте, составляет меньше 15% от величины давления волны, действующего на покрытие сооружения. Однако для большинства пористых, насыщенных влагой грунтов величина горизонтальной составляющей

давления волны сжатия, по-видимому, будет выше и может стать равной величине давления, действующего на покрытие сооружения. Давление, действующее в заглубленном сооружении на пол, который конструктивно составляет одно целое с его стенами, может достичь 75—100% величины давления, действующего на его покрытие.

4.44. В подземном сооружении, возведенном на такой глубине, при которой отношение глубины заложения сооружения к его пролету составляет (или превышает) 3,0, будет ощущаться защитное действие окружающего грунтового свода. Незначительный опыт, полученный при испытаниях на полигоне в штате Невада, показывает, что грунтовой свод значительно снижает нагрузку на сооружения из гибких элементов, хотя точная степень такого уменьшения до настоящего времени не определена.

4.45. Характер повреждений, которые могут получить сооружения неглубокого заложения, зависит от многих переменных величин, в том числе от характеристики сооружения, характера грунта, глубины заложения, величины вертикального давления и направления распространения ударной волны. В таблице 4.45 приведены предельные значения максимального избыточного давления,

Таблица 4.45

Характеристика повреждений обсыпных и заглубленных сооружений

Тип сооружения	Категория разрушения (повреждения)	Максимальное избыточное давление (кг см²)	Характер разрушения (повреждения)
Обсыпные легкие сводчатые наземные сооружения из волнистой стали (марки 10); длина панелей 6—7,5 м; центральный угол равен 180°; толщина грунтовой обсыпки — 1,5 м[1]	Сильное Среднее	3,15—4,20 2,8—3,5	Полное разрушение. Сильная деформация свода и стен, обращенных к взрыву; повреждение дверей главного входа
	Легкое	2,1—2,8	Повреждение вентиляции и входных дверей
Заглубленные сводчатые бетонные сооружения с длиной пролета 4,8 м; центральный угол равен 180°; толщина стенок — 20 см, толщина грунтовой обсыпки — 1,2 м	Сильное Среднее	15,4—19,6 11,2—15,4	Полное разрушение. Сильная деформация сооружения с образованием больших трещин и отслаивание бетона
	Легкое	8,4—11,2	Образование трещин в панелях, возможно повреждение входных дверей

[1] Если сводчатые сооружения усилены ребрами, то величина давления, вызывающего разрушение сооружения, будет выше, чем приведенные в таблице данные, и будет определяться числом ребер.

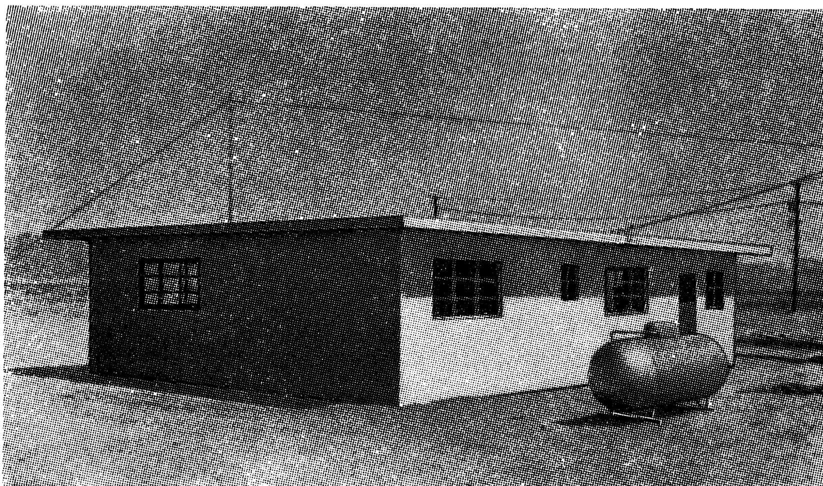


Рис. 5.37. Дом из железобетонных панелей до ядерного взрыва на полигоне в штате Невада

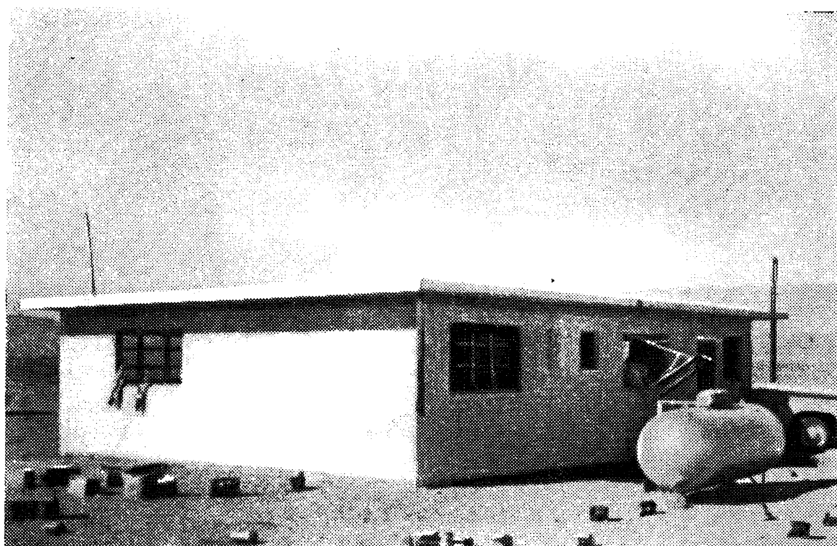


Рис. 5.38. Дом из железобетонных панелей после ядерного взрыва (избыточное давление 0,35 кг/см²). Резервуар со сжиженным нефтяным газом, стоявший у дома, существенных повреждений не получил

5.38. Этот дом хорошо выдержал максимальное избыточное давление в 0,35 кг/см². После замены разбитых или сильно поврежденных дверей и окон он мог стать пригодным для жилья (рис. 5.38).

5.39. Железобетонные плиты крыши со стороны фасада дома оказались несколько приподнятыми над своими опорами, однако ни одно соединение со стенами не было нарушено. В некоторых стенах образовались небольшие трещины, и в некоторых местах произошло небольшое смещение стен. В отдельных местах обнажились соединения стеновых панелей. Стальные переплеты окон несколько погнулись, но уцелели.

5.40. Как и следовало ожидать, такой же дом, подвергшийся воздействию максимального избыточного давления в 0,12 кг/см², пострадал сравнительно немного. В этом доме были выбиты все стекла, сорваны с петель и разбиты двери, погнуты оконные переплеты. Кроме этого единственным другим важным повреждением было выкрошивание бетона в местах соединений стеновых панелей.

Одноэтажный дом из армированных бетонных блоков

5.41. Этот тип дома, также испытывавшийся в 1955 году, имел конструкцию повышенной сейсмической устойчивости. Пол дома представлял собой бетонную плиту, бетонирование которой было произведено на уровне поверхности земли. Наружные и внутренние стены были выложены из легких бетонных блоков, армированных вертикальными стальными стержнями, которые прикреплялись к бетонной фундаментной плите. Наружные стены также армировались горизонтальными стальными стержнями, проходившими в бетонных блоках на двух уровнях. Проемы в стенах были перекрыты железобетонными перемычками. Крыша была собрана из легких бетонных панелей (рис. 5.41).

5.42. При максимальном избыточном давлении 0,35 кг/см² окна были разрушены, а двери отброшены внутрь и разбиты. Стальные оконные переплеты погнулись, но почти все остались на своих местах. Дом пострадал незначительно и мог быть восстановлен при сравнительно небольших затратах на ремонт (рис. 5.42).

5.43. Бетонные плиты крыши слегка сдвинулись, но соединение их со стенами не нарушилось. Кладка под большим окном (рис. 5.42) была вдавлена внутрь примерно на 10 см. Это объясняется, по-видимому, отсутствием креплений стен к полу под оконными проемами. Появление трещин в стене над тем же окном объясняется, очевидно, неправильной установкой железобетонной оконной перемычки и заменой трубчатой стойки посредине оконного проема.

5.44. При максимальном избыточном давлении в 0,12 кг/см² повреждения, полученные домом такого же типа, сводились к разрушению дверей и окон. Стальные оконные переплеты погнулись,

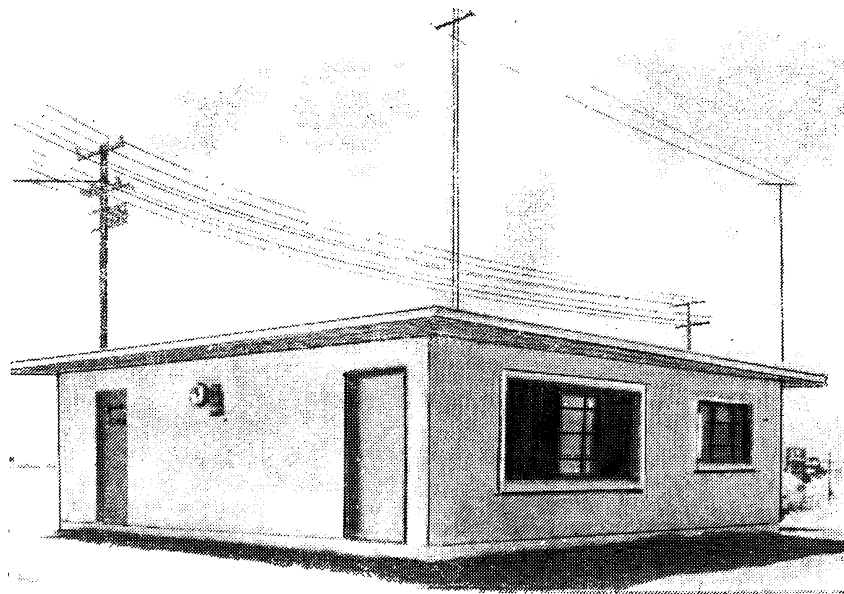


Рис. 5.41. Дом усиленной конструкции из бетонных блоков до ядерного взрыва на полигоне в штате Невада

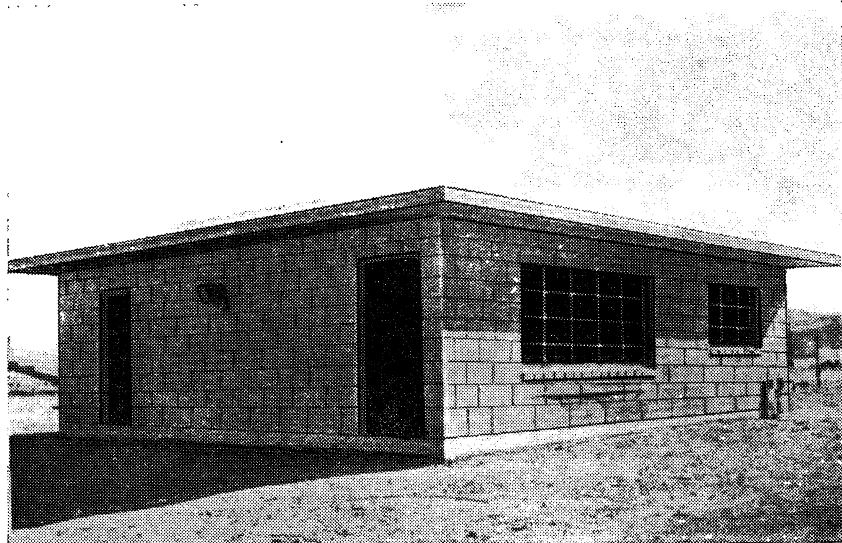


Рис. 5.42. Дом усиленной конструкции из бетонных блоков после ядерного взрыва (избыточное давление 0,35 кг/см²)

но остались на месте. Наблюдалось некоторое выкрошивание бетона в местах заделки соединений. В целом дом получил небольшие повреждения и мог быть легко отремонтирован.

Передвижные домики на прицепах

5.45. В 1955 году было проведено испытание 16 типов различных домиков, смонтированных на прицепах. Учитывая, что парки автоприцепов обычно находятся на окраинах городов, передвижные домики при испытаниях были установлены на значительном расстоянии от эпицентра ядерного взрыва. Девять таких прицепов-домиков были помещены в районе, где максимальное избыточное давление было 0,12 кг/см², а остальные семь в районе, где это давление составляло 0,07 кг/см². Прицепы были установлены под различным углом по отношению к направлению движения ударной волны.

5.46. В районе более высокого максимального избыточного давления два передвижных домика были опрокинуты силой взрыва. Один из этих домиков был установлен боковой стороной к направлению распространения ударной волны, а второй, более легкий, примерно под углом 45°. Остальные домики-прицепы не были опрокинуты. В целом повреждения были несерьезные. Степень воздействия давления ударной волны на различные домики-прицепы была различной и зависела от конструкции этих прицепов, типов креплений, сечения металлических деталей, расположения стоек, величины окон.

5.47. Под воздействием ударной волны многие домики оказались перекошенными, на стенах и крышах образовались вмятины. Однако количество проломов было сравнительно небольшое. Большинство окон было разбито, но внутрь домиков, особенно если у них имелись шторы, стекол попадало очень мало. Там, где не было штор и жалюзи, и особенно если окна были большие по размеру, стекла попадали внутрь.

5.48. Внутри домиков, как правило, повреждались панели, ломалась мебель. Печи и холодильники оставались на своих местах, полы каких-либо повреждений не получали. Ремонт этих домиков и их оборудования не требовал больших затрат.

5.49. В передвижных домиках, подвергшихся воздействию избыточного давления в 0,07 кг/см², было разбито несколько окон, но серьезных повреждений эти домики не получили. Для приведения их в годное для жилья состояние достаточно было произвести только ремонт окон.

Продовольствие

5.50. В целях определения воздействия ядерного взрыва на продукты питания в 1955 году испытаниям было подвергнуто около 90 различных видов продовольствия. Выбор видов продо-

Таблица 7.40

Величина светового импульса, при котором наблюдается воспламенение тканей (при взрывах мощностью 20 и 10 000 кт)

Материал	Вес 1 м² (г)	Количество световой энергии, вызывающее воспламенение (кал/см²)	
		20 кт	10 000 кт
Тафта из ацетатной вискозы (вишневая)	100	2	3
Хлопчато-бумажная синель, постельное покрывало (светло-синее)	—	4	8
Ткань, пропитанная аэролаком, алюминизированный ацетат целлюлозы	—	18	35
Хлопчатобумажный муслин, промасленные оконные шторы (зеленые)	270	5	11
Хлопчатобумажная парусина для тентов (зеленая)	400	5	9
Хлопчатобумажная грубая ткань (коричневая)	270	6	11
Вискозная подкладочная ткань (саржа черная)	100	1	2
Хлопчатобумажные шторы, грязные (белые)	—	7	12
Хлопчатобумажные простыни, беленые, стираные (кремовые)	100	15	30
Вискозная бельевая ткань (саржа бежевая)	100	8	16
Вискозный габардин (черный)	200	3	6
Хлопчатобумажная ткань для рубашек (коричневая)	170	7	13
Хлопчатобумажная спецодежда, поношенная (синяя)	340	8	13
Хлопчатобумажные и вискозные чехлы для сидений в автомобилях (темно-синие)	300	8	13
Ацетатный шантунг (черный)	100	9	15
Драпировка из ацетатного шелка (вишневая)	170	9	16
Занавеси из вискозного маркизета (цвета слоновой кости)	70	9	14
Спецодежда новая из хлопчатобумажной ткани, стираная (синяя)	340	9	14
Хлопчатобумажная обивка сидений автомобиля (зеленая, коричневая и белая)	340	9	16
Вискозный габардин (золотистый)	240	9	20
Хлопчатобумажная тесьма для штор (белая)	—	16	30
Шерстяная фланель новая (черная)	240	8	16
Хлопчатобумажный обивочный материал плотный (коричневых тонов)	400	16	30
Обивочный материал для автомобилей с хлопчатобумажной основой и шерстяным покрытием (серый)	440	16*	35*
Шерстяной грубый ковер (серый)	240	16*	35*
Обивка для стульев из ворсистой шерсти (вишневая)	540	16*	35*
Обивочный материал для стульев из грубой шерстяной ворсистой байки (светло-коричневый)	480	16*	35*
Нейлоновый трикотаж (коричневый)		5*	10*
Хлопчатобумажная ткань для матрацев (серая)	—	8	16
Холст плотный (коричневый)	600	8	16
Прорезиненный брезент для верха автомобиля (серый)	680	16*	28*

* В этих случаях указанные величины светового импульса не вызывали устойчивого горения материала.

на находящиеся рядом другие возгораемые материалы, которые не подверглись непосредственному воздействию светового излучения. Если древесина находится в виде опилок или стружки, то она под воздействием светового излучения ядерного взрыва может довольно легко воспламениться.

7.42. Грубо говоря, световые импульсы излучения, вызывающие обугливание непокрашенной и не обработанной какими-нибудь веществами древесины, коры сосны, ели, красного дерева и клена, составляют примерно 10—15 кал/см². Древесина, окрашенная в черный цвет, обугливается сильнее; однако покраска древесины в светлые цвета и покрытие ее лаком оказывают защитное действие[1].

7.43. Стекло имеет очень высокую стойкость к воздействию тепла, однако оно является хрупким, в силу чего его иногда заменяют прозрачными или полупрозрачными пластмассами. В некоторых случаях, чтобы сделать стекло более прочным, слой из стекла соединяют со слоем из пластмассы, подобно тому как это делается при изготовлении автомобильных ветровых стекол. Эти пластмассы изготовляются из органических соединений и под действием тепла легко разлагаются. Однако бакелит, ацетат, целлюлоза, люсит, плексиглас, полиэтилен и тефлон весьма стойки к воз-

[1] Энергия светового излучения, падающая на фасад дома, указанного в п. 7.33, равнялась примерно 25 кал/см².

действию светового излучения. Величина светового импульса, при котором происходит оплавление или потемнение этих материалов, составляет по крайней мере 60—70 кал/см^2.

Величина светового импульса, при котором наблюдается воспламенение различных материалов

7.44. В связи с вопросом о возникновении пожаров большой интерес представляет величина светового импульса, при котором наблюдается воспламенение различных материалов.

Таблица 7.44

Приблизительная величина светового импульса, при котором наблюдается воспламенение возгораемых материалов домашнего обихода и материалов, находящихся в сухом лесу

Материал	Вес 1 м^2 (г)	Количество энергии (кал/см^2)	
		20 кт	10 000 кт
Швабра (серая)	—	3	5
Обрывки газетной бумаги	70	2	4
Бумага крепованная (зеленая)	95	4	8
Отдельный газетный лист	70	3	6
Газеты (в пачке, поверхность открыта)	—	3	6
Газеты мятые, подвергавшиеся атмосферным влияниям	95	3	6
Газеты мятые	70	4	8
Хлопчатобумажный обтирочный материал (маслянисто-серый)	—	5	8
Бумага писчая, новая (белая)	70	15	30
Отдельный лист оберточной бумаги (коричневый)	70	7	14
Спички в бумажной обложке (голубые, головки открытые)	—	5	9
Хлопчатобумажные концы для вытирания (серые)	—	6	10
Целлюлозная губка, новая (розовая)	1300	6	10
Хлопчатобумажные концы веревки, подвергшиеся воздействию погоды (кремовые)	—	7	13
Картон бристольский, трехслойный (темный)	340	8	15
То же (белый)	340	12	25
Крафт-картон, бывший в употреблении (коричневый)	540	8	15
Крафт-картон использованный, гофрированные концы открыты (коричневый)	—	12	25
Веник (желтый)	—	8	17
Сосновая стружка (светло-желтая)	—	5	12
Жесткая щетка из волокна «тампико» (грязно-желтая)	—	10	20
Жесткая щетка из волокон «пальмето», бывшая в употреблении, ржавого цвета	—	12	25
Бумажная ткань для чехлов на сиденья в автомобиле, бывшая в употреблении (многоцветная)	450	12	25
Кожа тонкая, коричневая	210	15*	30*
Виниловый пластик для покрытия сидений в автомашине	340	16*	27*
Плетение из соломы, старое, желтое	450	16*	33*
Сухая гнилая древесина		4	9
Мелкая мягкая трава		5	10
Опавшие листья		6	12
Иглы белой сосны		6	14
Крупная грубая трава		7	16
Иглы ели		8	17
Иглы сосны (коричневые)		8	18

* Под воздействием светового импульса указанной величины стойкое горение не происходит.

Изучение этого вопроса проводилось как в лабораторных условиях, так и при испытаниях ядерного оружия. Результаты изучения не являются окончательными, но они дают возможность сделать общий вывод о величине светового импульса, необходимой для того, чтобы вызвать воспламенение того или иного материала. Данные, приведенные в таблице 7.44, относятся к предметам домашнего обихода и к материалам, воспламенение которых может вызвать пожары в лесу. Вблизи многих зданий обычно имеются материалы, способные воспламеняться под воздействием светового импульса в 3 кал/см^2. Любые тканевые изделия домашнего обихода, как правило, воспламеняются от воздействия светового импульса в 10 кал/см^2.

7.45. Энергия светового излучения, необходимого для воспламенения горючих материалов, находящихся в лесу, в значительной степени зависит от количества влаги, содержащейся в этих материалах. При составлении таблицы 7.44 было принято, что листья и трава являются достаточно сухими, поэтому величина светового импульса, вызывающего их воспламенение, характеризуется минимальными величинами. При наличии сухих горючих материалов в лесу световое излучение может вызвать пожары. Эти пожары затем могут воспламенить материалы, которые содержат большее количество влаги, но которые не могли быть воспламенены непосредственно от светового излучения.

Зависимость величины светового импульса от расстояния

7.46. Для использования данных таблиц 7.40 и 7.44 с целью определения расстояния от центра взрыва (при заданной мощности ядерного взрыва), на котором будет происходить воспламе-

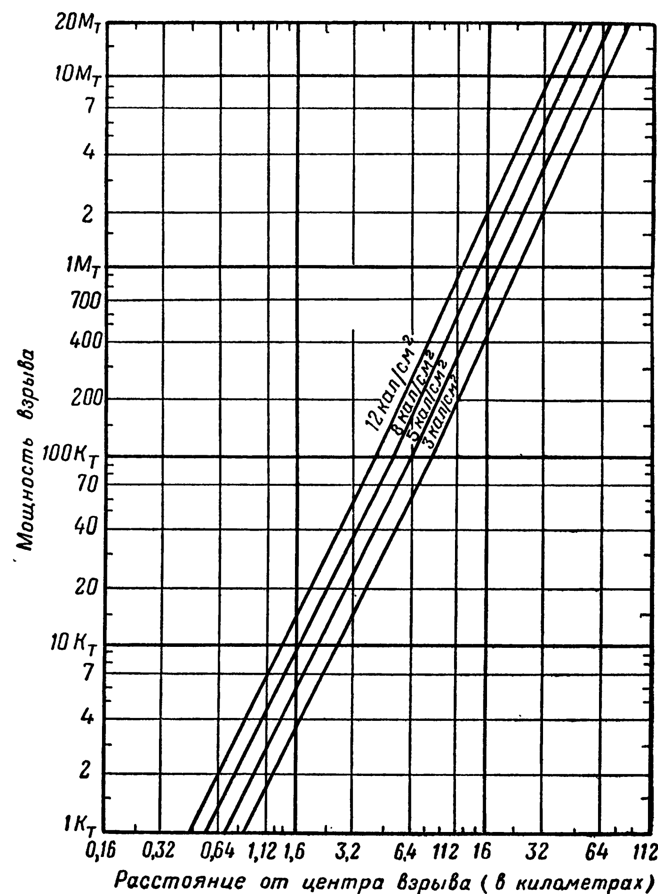


Рис. 7.46. Расстояния, на которых наблюдаются определенные величины светового импульса (в зависимости от мощности взрыва)

нение того или иного материала, необходимо установить зависимость величины светового импульса от расстояния. График такой зависимости показан на рис. 7.46. При этом считается, что взрывы производятся в достаточно прозрачной атмосфере, т. е. при дальности видимости в 16 км и более.

7.47. Предположим, что необходимо определить расстояние, на котором можно ожидать возникновение пожаров под воздействием энергии светового излучения воздушного ядерного взрыва мощностью в 1000 килотонн. Из таблицы 7.44 можно вывести, что средняя величина светового импульса, необходимого для воспламенения обычных возгораемых материалов, составляет 5 кал/см². Далее, отыскав на вертикальной оси рис. 7.46 точку, соответствующую мощности взрыва в 1 мегатонну, проводим из этой точки горизонтальную линию до пересечения с линией, соответствующей величине светового импульса в 5 кал/см². Полученная точка, как видно из графика, соответствует расстоянию в 17,6 км от центра взрыва, и, следовательно, на этом расстоянии могут возникать пожары в результате непосредственного поглощения энергии светового излучения. В том случае, когда атмосфера недостаточно прозрачна, или при наземном (надводном) взрыве расстояния могут быть меньше полученных из графика 7.46. Эти расстояния также будут меньше при наличии слоя облаков или дыма между объектом и центром взрыва.

Воздействие светового излучения на различные материалы во время ядерных взрывов в Японии

7.48. Помимо воспламенения материалов, приводившего к возникновению пожаров, о чем дополнительно будет сказано ниже, в Японии наблюдались и другие явления, свидетельствовавшие

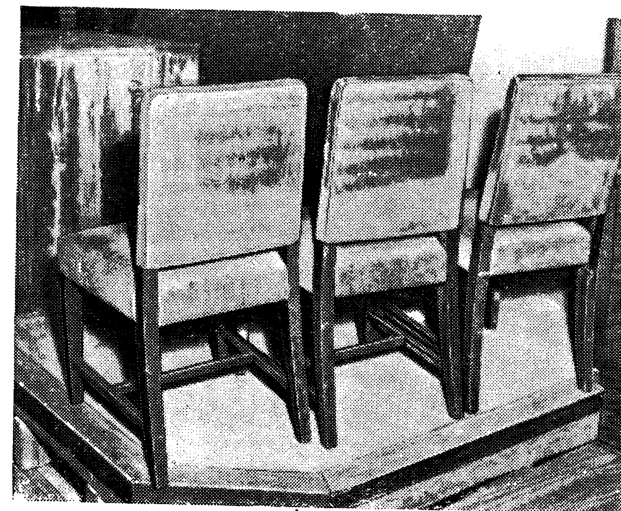


Рис. 7.48а. Обугливание материала обивки мягкой мебели в результате действия светового излучения, прошедшего через окно здания при взрыве в Хиросиме (1600 м от эпицентра взрыва)

об очень сильном нагревании материалов в результате поглощения энергии светового излучения. Ткани (рис. 7.48а), деревянные столбы (рис. 7.48б), а также деревья, находившиеся в радиусе до

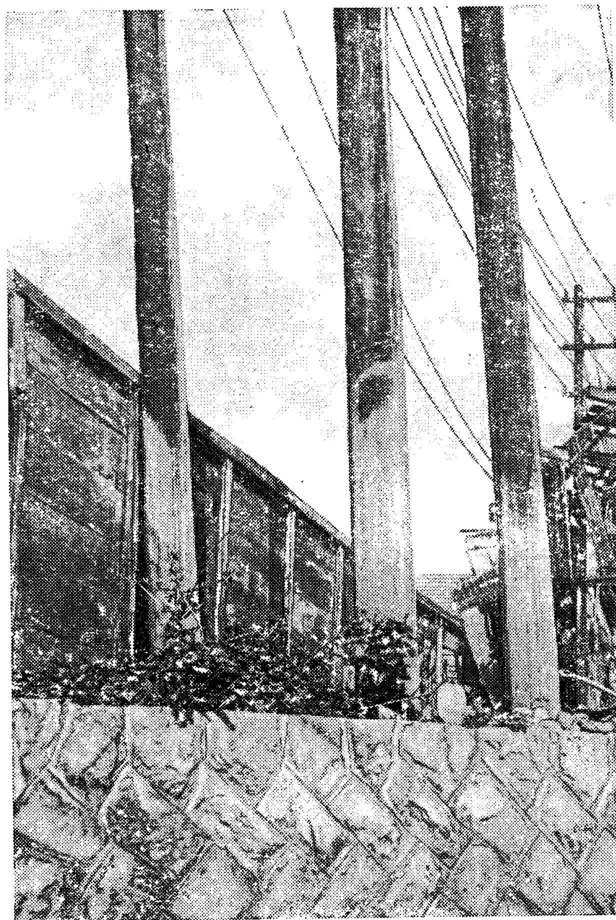


Рис. 7.48б. Обугливание поверхности деревянных столбов в результате действия светового излучения при ядерном взрыве в Нагасаки (2700 м от эпицентра взрыва). Нижние части столбов оказались необугленными вследствие защитного действия стены

3300 м от эпицентра взрыва в Нагасаки и до 2700 м в Хиросиме (3—4 кал/см^2), если не уничтожались пожарами, то подвергались, как правило, обугливанию со стороны, обращенной к месту взрыва. В тех местах, где здания, отдельные стены, холмы и прочее служили защитой, признаков поражающего воздействия светового излучения не обнаружилось.

7.49. Интересный случай экранирующего действия преграды был зарегистрирован в Нагасаки. Верхушки и верхняя часть ряда деревянных столбов сильно обуглились, однако обугленный участок был резко отграничен тенью, которую создавала стена. Сама стена была полностью разрушена ударной волной, действие которой проявилось уже после светового излучения.

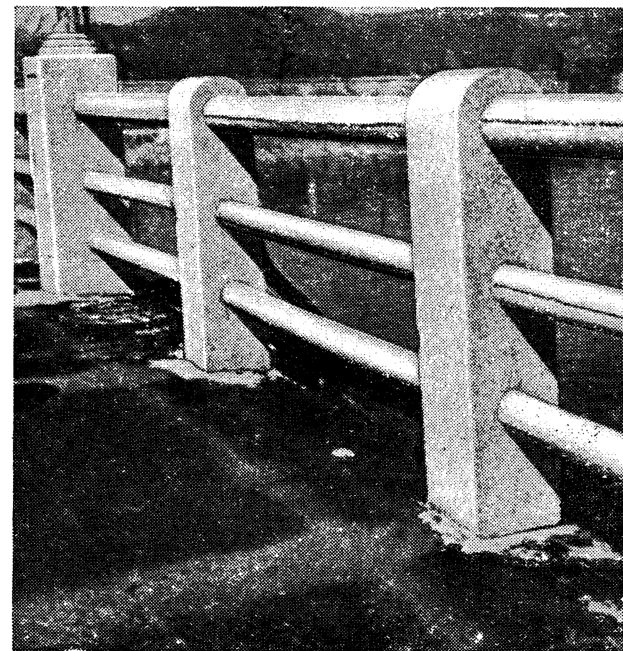


Рис. 7.50а. Потемнение асфальтированного покрытия на мосту в Хиросиме под действием светового излучения. Места, оставшиеся светлыми, были защищены перилами моста. Длина и направление «теней» указывают место взрыва

7.50. Наблюдения за тенями, образовавшимися в результате экранирования отдельных участков поверхности некоторыми предметами, находившимися под непосредственным воздействием светового излучения (рис. 7.50а и 7.50б), позволили довольно точно определить направление на центр взрыва, а изучение таких теней в различных пунктах вокруг места взрыва дало возможность установить центр взрыва. Иногда четко выраженные полутени давали возможность определить диаметр огненного шара в момент максимального светового излучения.

7.51. Одним из поразительных примеров воздействия светового излучения было то, что в местах прямого воздействия светового излучения полированный гранит становился шероховатым. Это объяснялось неравномерным расширением кристаллов, из которых состоит гранит. Установлено, что для того чтобы вызвать такой эффект, температура должна была быть по меньшей мере 600° С. По изменению поверхности гранита и глубине ее шероховатости можно было определить глубину слоя с повышенной температурой. Подобные наблюдения были использованы для определения максимальной температуры на поверхности земли в момент ядерного взрыва. Как отмечалось в п. 7.31, эта температура была исключительно высока, особенно в районе эпицентра взрыва.

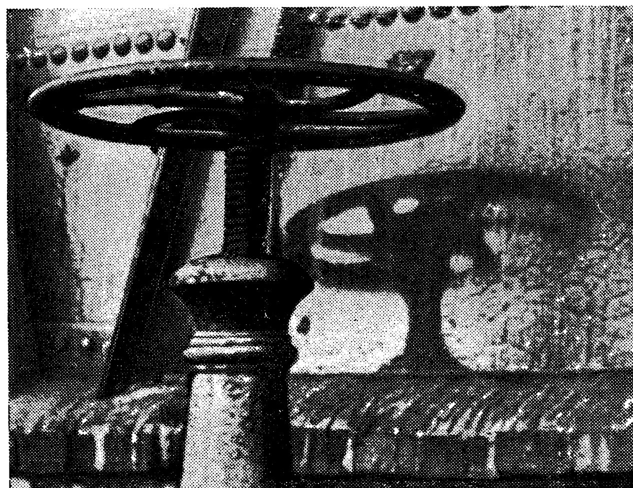


Рис. 7.50б. Краска на газгольдере под воздействием светового излучения при взрыве в Хиросиме выгорела; исключение составляют участки, защищенные вентилем (2100 м от эпицентра взрыва)

7.52. Другим примером воздействия светового излучения, оказавшимся весьма ценным для последующих исследований, было образование пузырей на темно-зеленой (почти черной) пористой поверхности черепицы, широко используемой в Японии как кровельный материал (рис. 7.52). Это явление было зафиксировано на расстоянии до 1200 м от центра взрыва (величина светового импульса составляла примерно 40 кал/см^2). Размеры пузырей и их количество увеличивались по мере приближения к месту взрыва. Кроме того, их характер изменялся также в зависимости от угла наклона черепицы. При испытании такой же неповрежденной черепицы в лабораторных условиях было установлено, что



Рис. 7.52. Образование пузырей на поверхности кровельной черепицы в результате воздействия светового излучения при взрыве в Хиросиме. Левая часть черепицы была защищена перекрывающей черепицей (600 м от эпицентра взрыва)

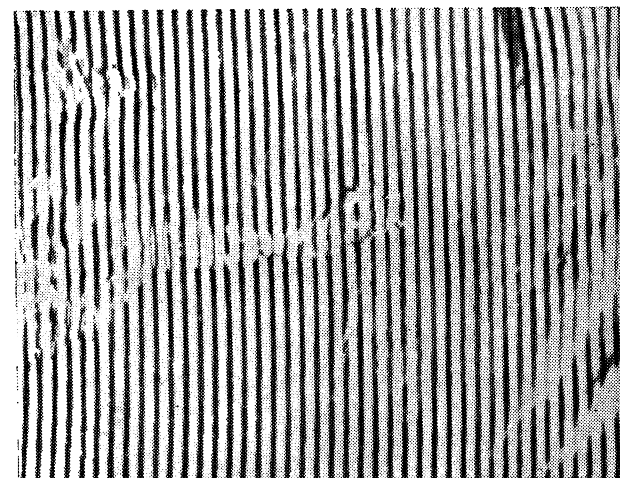


Рис. 7.53. Светлые участки ткани не получили повреждений, темные полосы в результате воздействия светового излучения частично обуглились

такие же пузыри образуются в течение 4 секунд при температуре 1800° С, хотя при этом глубина воздействия светового излучения на черепицу была больше, нежели в Японии. На основании полученного результата испытаний было установлено, что при ядерном взрыве черепица подверглась воздействию температуры более 1800° С в течение периода менее 4 секунд.

7.53. Значительный интерес также представляет разница в воздействии светового излучения на светлые и темные ткани при ядерных взрывах в Японии. Светлые ткани либо отражают, либо пропускают сквозь себя большую часть падающего на них светового излучения. Как следствие, они не нагреваются до таких высоких температур и не подвергаются таким разрушениям, каким подвергаются темные ткани, поглощающие большую часть излучения. В одном случае, например на полосатой мужской рубашке, темные полосы выгорели, в то время как светлые остались неповрежденными (рис. 7.53). Точно так же лист бумаги, исписанный черными чернилами, подвергшийся воздействию светового излучения (5 кал/см²) на расстоянии 2400 м от эпицентра взрыва, выгорел в тех местах, на которых были чернила, в то время как остальная часть бумаги почти не пострадала.

ВОСПЛАМЕНЯЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ

Возникновение пожаров

7.54. Пожары при ядерном взрыве возникают в основном по двум причинам. Во-первых, вследствие воспламенения целого ряда материалов, таких, как бумага, мусор, оконные занавеси, тенты над окнами, сухая трава, листья, стружки и т. п., происходящего в результате непосредственного поглощения ими светового излучения. Во-вторых, вследствие вызываемых ударной волной разрушений: разрушения печей, короткого замыкания электросетей и повреждения газовых линий. Независимо от причины возникновения пожара дальнейшее его распространение определяется количеством и распределением горючих материалов, находящихся вблизи очага пожара. Таким образом, распространение пожаров, сопровождающих ядерный взрыв, зависит от двух факторов: 1) количества очагов пожара и 2) характера района, в котором возникли эти очаги.

7.55. Условия возникновения вторичных (косвенных) пожаров проанализировать трудно, однако имеются некоторые особенности, характерные для пожаров, возникающих под непосредственным воздействием светового излучения, которые в достаточной мере ясны. Наиболее важным фактором является так называемая плотность очагов воспламенения, т. е. количество пунктов на единицу площади, в которых могут находиться возгораемые материалы, аналогичные тем, о которых говорилось в предыдущем параграфе. Вообще говоря, такие материалы могут загореться только

в том случае, если они окажутся под воздействием светового импульса в 3—5 кал/см². Данные, приведенные на рис. 7.55, получены на основе изучения структуры ряда крупных городов США. Из этих данных видно, что наибольшее количество точек, в которых происходит воспламенение различных материалов, находится в районах оптовой торговли и в районах трущоб, а наименьшее — в хороших жилых кварталах или крупных промышленных районах. Во всех районах наиболее распространенным, легко возгораемым материалом является бумага; исключением являются районы с магазинами розничной торговли, где основным источником пожаров являются парусиновые надоконные тенты.

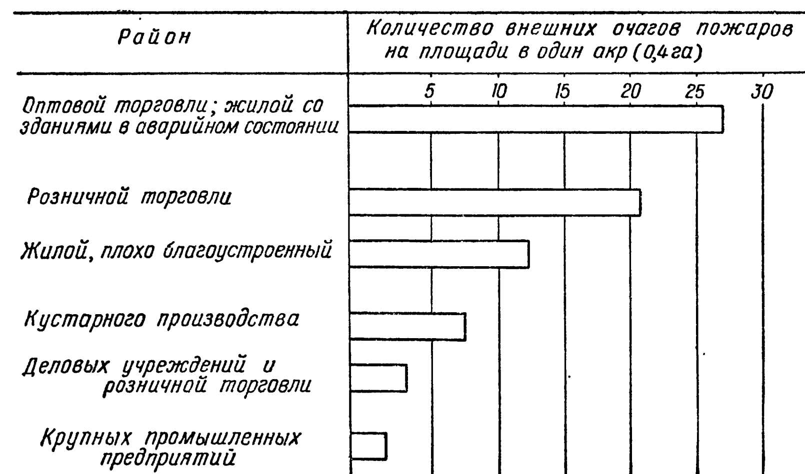


Рис. 7.55. Возможное количество внешних очагов пожаров для различных районов города

7.56. Плотность точек возможного воспламенения позволяет судить о вероятности возникновения пожаров в данном районе при идеальных условиях погоды. Однако результаты, приведенные на рис. 7.55, сами по себе не являются достаточными для подсчета количества крупных пожаров, которые фактически могут возникнуть при ядерном взрыве. В районе эпицентра взрыва, где величина светового импульса превышает 12 кал/см², почти все горючие материалы будут охвачены пламенем (таблица 7.44). На больших расстояниях от места взрыва загораться будут лишь те материалы, которые легко воспламеняются. Кроме того, чтобы возник крупный очаг пожара, способный к дальнейшему распространению, требуется наличие поблизости от этого очага большого количества горючего материала, что не всегда имеет место.

7.57. Скопление возгораемого мусора вблизи деревянной постройки представляет собой реальную угрозу возникновения пожара, что было подтверждено при ядерных испытаниях в штате

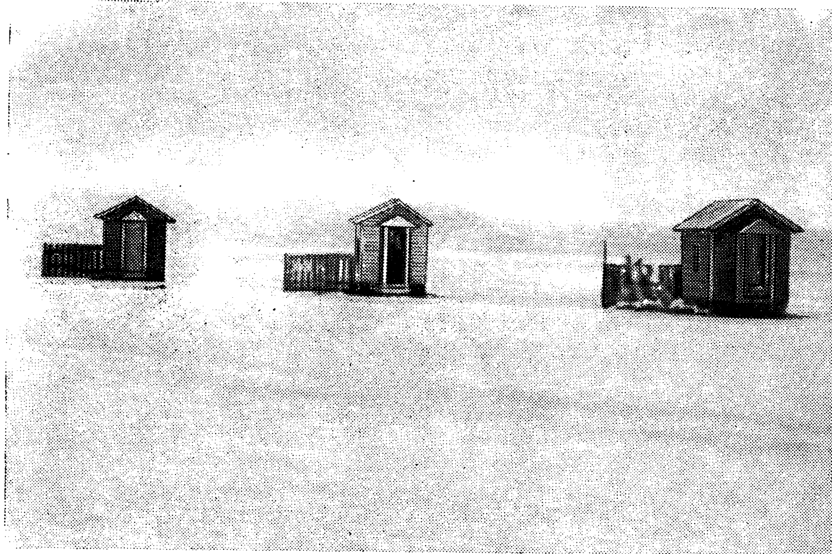


Рис. 7.57. Деревянные дома до ядерного взрыва на полигоне в штате Невада в 1953 г.

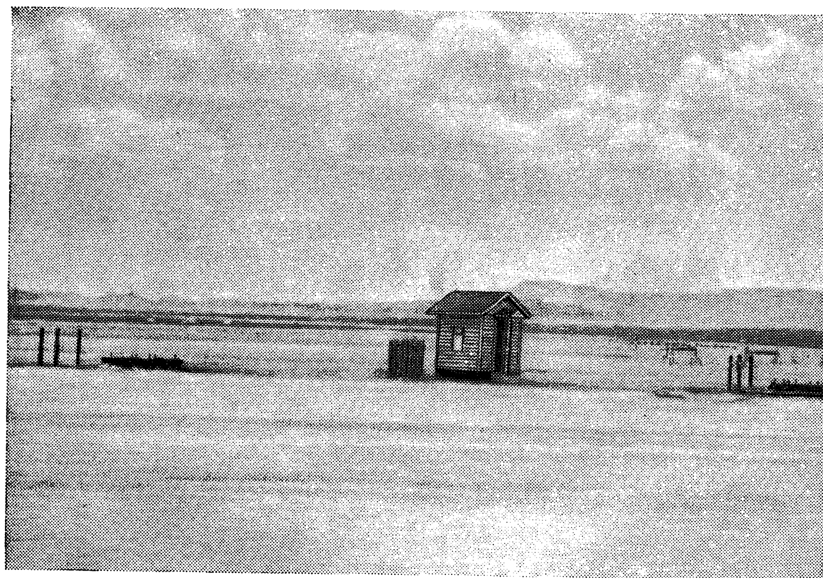


Рис. 7.58. Деревянные дома после ядерного взрыва на полигоне в штате Невада в 1953 г.

Невада в 1953 году. Во время этих испытаний три небольших деревянных дома, каждый из которых имел двор, окруженный деревянным забором, подверглись воздействию светового импульса в 12 кал/см². Один дом (слева на рис. 7.57) имел обшивку из ветхих досок, но на дворе не было мусора; двор соседнего дома также был чистым, но обшивка этого дома была в хорошем состоянии и покрашена. У третьего дома (на рисунке справа) обшивка была в плохом состоянии и во дворе имелось много мусора.

7.58. Состояние этих трех домов после ядерного взрыва показано на рис. 7.58. Третий дом (справа) вскоре после взрыва был охвачен пламенем и сгорел до основания. Первый дом (слева) загорелся, но целиком был охвачен пламенем только через 15 минут. Дом, находившийся в хорошем состоянии (на рисунке в центре), с чистым двором, был лишь частично поврежден действием светового излучения. Интересно отметить, что дерево нового, окрашенного в белый цвет дома, подвергнутого воздействию светового импульса в 25 кал/см², сильно обуглилось, но не загорелось (рис. 7.33б).

7.59. В ходе испытаний подтвердилось большое значение огнестойких материалов, применяемых для внутренней отделки домов, для уменьшения числа очагов. Во время испытаний два одинаковых по прочности дома (каждый из них имел окно размером $1{,}2 \times 1{,}8$ м, обращенное в сторону взрыва) подверглись воздействию светового импульса в 17 кал/см². В одном доме внутренние стены были обиты искусственным шелком, на полу были хлопчатобумажные коврики, а на окнах занавески. Как ожидалось, пламя охватило этот дом сразу после взрыва, и он сгорел полностью. В другом доме для обивки стен была употреблена виниловая пластмасса, а коврики и занавески были шерстяные. Хотя огонь вспыхнул во многих местах, однако пожарная группа, вошедшая в дом через час, сумела ликвидировать пожар.

7.60. Следует остановиться еще на одном вопросе в связи с проблемой возникновения пожаров под воздействием светового излучения. Речь идет о том, возможно ли тушение пламени, появившегося от воздействия светового излучения, ударной волной ядерного взрыва. В начале предполагалось, что некоторые наблюдавшиеся в Японии факты дают положительный ответ на этот вопрос, однако такие случаи были исключительно редки. При изучении этого вопроса использовались как результаты ядерных взрывов в Японии, так и данные различных ядерных испытаний, и общим выводом было, что воздушная ударная волна пламени почти не сбивает.

Распространение пожаров

7.61. Распространение пожаров в городе зависит от многих факторов: от условий погоды, характера местности, плотности застройки и огнестойкости конструкций зданий. Однако детальное

изучение крупных пожаров показало, что при всех прочих одинаковых условиях наиболее важным для распространения пожаров в данном районе является расстояние между зданиями. Из общего рассмотрения этого вопроса следует, что вероятность распространения огня от одной постройки к другой тем меньше, чем меньше плотность застройки данного района, а чем больше расстояние между зданиями, тем легче ликвидировать пожар.

7.62. Кривая, показанная на рис. 7.62, дает примерное представление об изменении вероятности распространения огня, выраженной в процентах, в зависимости от расстояния между зданиями в городе. На эту зависимость оказывают влияние типы построек

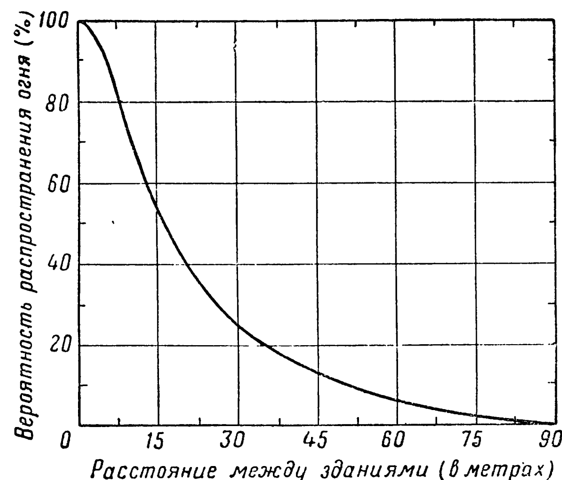


Рис. 7.62. Вероятность распространения пожаров в городе в зависимости от расстояния между зданиями

(их огнестойкость), а также размеры разрушений, вызванных ударной волной. Следует отметить, что данные, приведенные на рис. 7.62, относятся к случаю, когда в результате непосредственного воздействия светового излучения и других косвенных причин возникает большое количество небольших очагов огня.

7.63. Другим аспектом распространения пожаров является возникновение больших лесных пожаров главным образом в результате воспламенения сухих листьев, травы и сухого гнилого дерева под воздействием светового излучения. К числу факторов, влияющих на развитие таких пожаров, относятся: количество влаги, содержащейся в деревьях, топографические и метеорологические условия. Небольшая влажность в атмосфере, сильный ветер и ровная местность способствуют развитию лесных пожаров. Как правило, лиственный лес, в особенности когда деревья имеют листья, будет загораться не так быстро и гореть будет с меньшей интенсивностью, чем хвойный лес. Зеленые листья и стволы деревьев в какой-то мере защищают от светового излучения, поэтому количество очагов пожара в лесу будет даже меньше, чем это может показаться на первый взгляд.

ВОСПЛАМЕНЯЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ, ПРОИЗВЕДЕННЫХ В ЯПОНИИ

Ядерный взрыв как источник пожаров

7.64. Зажигательное действие ядерного взрыва не имеет каких-либо особых характерных черт. В принципе, с точки зрения характера разрушений, вызываемых огнем и ударной волной, тот же самый общий результат может быть достигнут при применении обычных зажигательных и фугасных бомб. Подсчитано, например, что ущерб, причиненный в Хиросиме пожарами, можно было бы получить, сбросив на город около 1000 т зажигательных бомб, распределенных по всему городу. Однако ясно, что, поскольку разрушение города было вызвано действием единственного ядерного взрыва мощностью, всего лишь в 20 килотонн, ядерный взрыв способен причинять огромные разрушения огнем, как и ударной волной.

7.65. На основании изучения результатов взрывов в Японии было установлено, что разрушения, связанные с пожарами, зависят от характера местности и метеорологических условий больше, нежели разрушения, вызываемые ударной волной. Как в Хиросиме, так и в Нагасаки радиусы зон разрушений, вызванных действием ударной волны, были примерно одинаковыми. Однако радиусы зон, в которых проявлялось воспламеняющее действие светового излучения, были совершенно разные. Величина общей площади, сильно пострадавшей от огня в Хиросиме (около 11,4 км²), была примерно в четыре раза больше, чем в Нагасаки. Одна из причин этого заключалась в том, что местность в районе Нагасаки была более холмистой, чем в районе Хиросимы. Важным фактором является различие в характере местности и связанной с ним плотности застройки: Хиросима находится на относительно ровной местности, и плотность застройки в этом городе очень высокая, в то время как в Нагасаки в районе эпицентра взрыва местность была холмистая, с малым количеством построек.

Возникновение и распространение пожаров в Японии

7.66. Результатами наблюдений в Японии было установлено, что под воздействием светового излучения тонкая хлопчатобумажная ткань темного цвета, употреблявшаяся для затемнения окон в военное время, тонкая бумага и сухое гнилое дерево воспламенялись на расстоянии до 1000 м от эпицентра. Количество световой

энергии на этом расстоянии составляло около 35 кал/см². Сообщалось о неожиданном воспламенении крыши дома, находившегося на большем расстоянии, однако это сообщение не получило

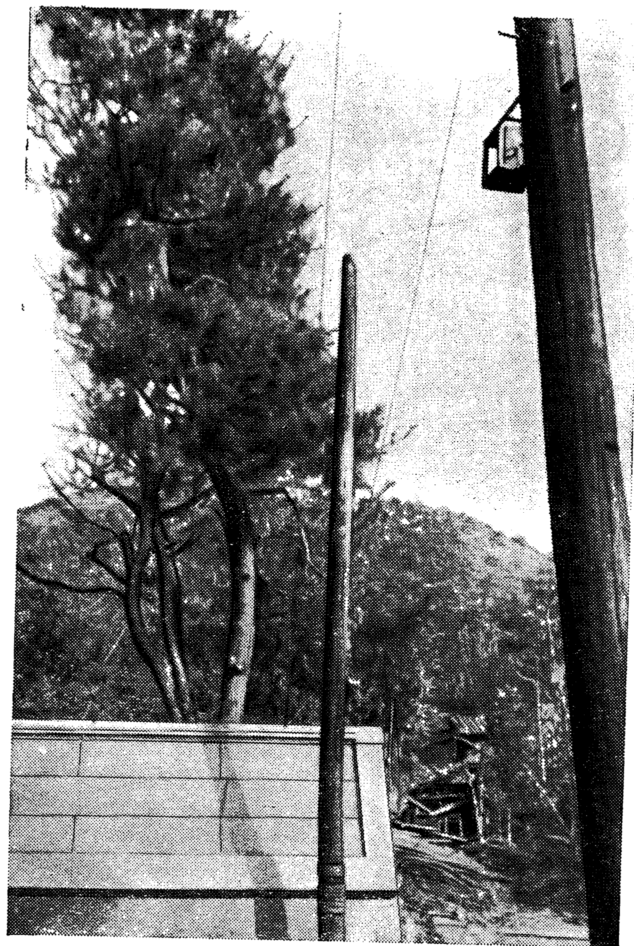


Рис. 7.66. Верхняя часть деревянного столба под действием светового излучения при взрыве в Хиросиме сгорела (2000 м от эпицентра взрыва). Другие объекты в непосредственной близости от столба не пострадали

точного подтверждения. Возможно, что в отдельных местах причиной возникновения пожаров было увеличение светового импульса в результате отражения, рассеяния и фокусирования (рис. 7.66).

7.67. Интересный случай воспламенения прочного дерева был зарегистрирован в Нагасаки, где упаковочный ящик из прочных

досок, находившийся на расстоянии примерно 1,6 км от эпицентра взрыва, подвергся воздействию светового импульса в 15 кал/см². Сторона ящика, обращенная к месту взрыва, обуглилась. Однако почернение было отмечено также и в щелях, в отверстиях для гвоздей, а также в других местах, куда световое излучение не проникало. Это, вероятно, можно объяснить тем, что поверхность ящика под воздействием светового излучения воспламенилась и

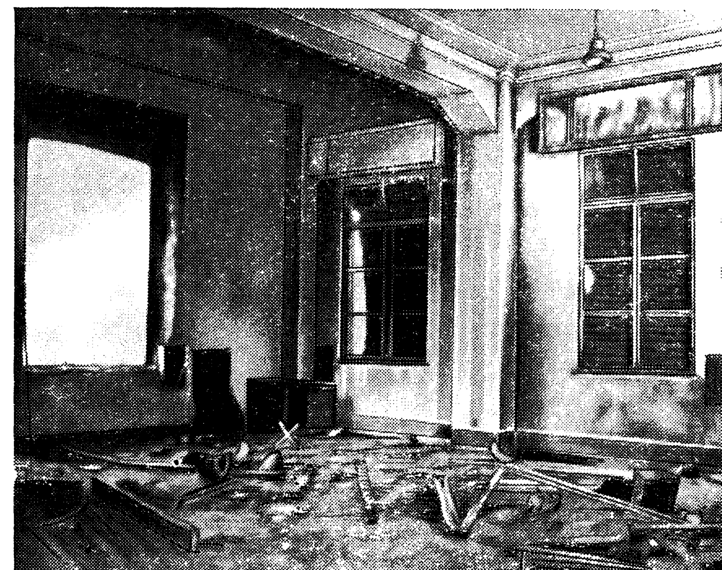


Рис. 7.70. Металлические жалюзи в результате действия ударной волны при взрыве в Хиросиме (около 900 м от эпицентра взрыва) были сорваны и отброшены внутрь помещения либо повреждены

пламя проникло в трещины, отверстия и другие места и поддерживалось там в течение нескольких секунд, после чего оно было потушено ударной волной.

7.68. На основе наблюдений над обугливанием древесины в Хиросиме и Нагасаки первоначально был сделан вывод о том, что древесина под действием светового излучения воспламеняется, а затем огонь тушится ударной волной. Однако в настоящее время кажется более вероятным, что, за исключением некоторых особых случаев, древесина, как правило, не воспламеняется. Поглощение световой энергии приводило к обугливанию здоровой древесины, однако температура обычно оказывалась недостаточно высокой для ее воспламенения. Что касается гнилой древесины и стружки, то они полностью сгорали, и ударная волна в этих случаях большого влияния на пламя не оказывала.

7.69. Очень трудно установить, в какой мере действие светового излучения являлось причиной возникновения пожаров при ядерных взрывах в Японии. Вполне возможно, что на расстоянии 1,6 км от эпицентра взрыва пожары могли возникать и от вторичных причин, таких, как опрокидывание печей, короткое замыкание электросетей, повреждение газопроводов и т. д., что являлось прямым следствием воздействия ударной волны. Некоторые пожары на промышленных предприятиях возникали из-за опрокидывания производственных печей и котлов или в результате того, что стены и перекрытия зданий под воздействием ударной волны обрушивались на них.

7.70. Распространению возникших пожаров способствовал ряд факторов, непосредственно связанных с разрушениями, вызываемыми ядерным взрывом. Вследствие того что действие ударной волны вызвало разрушение окон, выбивание или повреждение металлических жалюзи, срывание крыш и стеновых панелей, а также обрушивание стен и крыш, здания становились более уязвимыми для огня (рис. 7.70). Распространение огня внутри огнестойких строений во многих случаях облегчалось разрушением лестниц, лифтов, противопожарных перегородок, а также разрушениями и обвалами междуэтажных перекрытий и перегородок (рис. 5.89г).

7.71. С другой стороны, каркасы строений из воспламеняющихся материалов в разрушенном состоянии сгорали медленнее, нежели когда они оставались целыми. Обломки огнестойких материалов во многих случаях закрывали горючие материалы и препятствовали их горению. Поэтому трудно сказать, способствовало или препятствовало действие ударной волны в целом распространению пожаров в Хиросиме и Нагасаки.

7.72. Хотя в японских городах имелись препятствия для распространения огня, как естественные (реки, открытые пространства), так и искусственные (дороги и незастроенные участки), они оказывались малоэффективными. Причина заключалась в том, что пожары очень часто возникали одновременно по обе стороны дороги или реки и поэтому последние, по существу, не играли своей противопожарной роли. Кроме того, горевшие материалы в результате действия ударной волны часто перебрасывались через эти препятствия (открытые пространства, такие, как улицы, дворы и т. д.), и поэтому последние не могли препятствовать распространению огня. Тем не менее было зарегистрировано несколько случаев, когда эти препятствия мешали распространению пожаров.

7.73. Одной из важных особенностей применения ядерного оружия в Японии было то, что в том большом районе, который подвергся действию ударной волны, вся пожарная служба была фактически выведена из строя. Правда, с точки зрения американских требований организация пожарной службы и качество противопожарной техники были плохими, однако пожарная служба вряд ли могла бы сделать больше, даже если бы качество пожарных

команд было лучше. В Хиросиме, например, в результате разрушений пожарных депо было выведено из строя 70% противопожарного оборудования и около 80% личного состава оказалось не в состоянии принять участие в тушении пожаров. Даже в том случае, если бы люди и машины не пострадали от действия ударной волны, они все равно не смогли бы ничего сделать: к очагам пожаров нельзя было приблизиться, из-за того что улицы были завалены обломками. По этой причине, а также ввиду опасности быть заваленными пожарные команды в уцелевших районах Нагасаки не были в состоянии приблизиться к эпицентру взрыва ближе чем на 2000 м. Поэтому почти все здания, находившиеся в этой зоне, были уничтожены.

7.74. Другим фактором, который привел к увеличению разрушений, вызванных пожарами, как в Хиросиме, так и в Нагасаки, был выход из строя системы водоснабжения. Насосные станции сильно не пострадали, однако серьезно были повреждены магистральные и распределительные трубопроводы, в результате чего произошла утечка воды и снизилось ее давление. Большая часть водопроводных линий, проложенных в зданиях, была повреждена обломками разрушенных зданий, и также вышла из строя вследствие расплавления труб под воздействием огня. Некоторые проложенные под землей водопроводные магистрали были выведены из строя, а другие оказались разрушенными из-за обвалов или деформации мостов, по которым они были проложены (п. 5.117).

Огненный шторм в Хиросиме

7.75. Примерно через 20 минут после ядерного взрыва в Хиросиме наблюдалось явление, известное под названием «огненный шторм». Это явление представляет собой совокупность воздушных потоков (ветров), двигавшихся с большой скоростью со всех сторон к горевшему району города. Скорость этих ветров достигала 50—65 км/час и оставалась на таком уровне в течение 2—3 часов после взрыва; затем примерно через 6 часов эта скорость уменьшилась до величины, соответствующей слабому или умеренному ветру. Ветер сопровождался перемежающимся дождем, небольшим над центром города и более сильным примерно на расстоянии 1100—1500 м к северу и западу от него. Поскольку сильные потоки воздуха в приземном слое были направлены к центру пожара, огненный шторм явился решающим фактором, ограничившим зону распространения пожара за пределы площади, первоначально охваченной огнем. Этим, собственно, и объясняется тот факт, что радиус выгоревшего в Хиросиме района был во всех направлениях примерно одинаковый и ненамного превышал тот радиус, в пределах которого появились пожары вскоре после взрыва. Однако отмечается, что в результате действия огненного шторма все находившиеся в этом районе возгораемые материалы были в конечном счете уничтожены огнем.

7.76. Необходимо отметить, что огненный шторм отнюдь не является характерной особенностью, присущей ядерному взрыву. Такие же огненные штормы имели место при больших лесных пожарах в США и особенно в Германии и Японии в годы второй мировой войны после воздушных налетов, во время которых сбрасывались зажигательные бомбы. Сильный ветер, направленный к центру пожара, является результатом тяги воздуха над горящим районом. Эта тяга представляет собой направленные вверх потоки сильно нагретого воздуха и отличается от обычной тяги в дымовой трубе только гораздо большей силой. Дождь, сопровождавший огненный шторм, нужно полагать, являлся следствием конденсации влаги на твердых частицах, поднимавшихся из огня при их попадании в область более холодного воздуха.

7.77. Образование огненного шторма зависит от условий, существующих в данном районе во время возникновения пожара. Так, например, в Нагасаки огненного шторма не было, хотя спустя некоторое время после начала пожара скорость юго-западного ветра между холмами возросла до 55 км/час, причем ветер такой силы дул в течение двух часов после взрыва. Примерно через 7 часов после взрыва направление ветра изменилось на восточное, а скорость его уменьшилась до 15—25 км/час. Такой характер ветров, несомненно, ограничивал распространение огня в направлениях, с которых эти ветры дули. Количество построек, оказавшихся в зоне огня в длинной узкой лощине, проходящей через Нагасаки, по-видимому, было недостаточным для возникновения огненного шторма. В Хиросиме же, ввиду того что на ровной местности находилось много зданий, условия для образования огненного шторма оказались благоприятными.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И ДЕЙСТВИЯ СВЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Распределение и поглощение энергии, излучаемой огненным шаром

7.78. Произведенное во время испытаний спектроскопическое исследование показало, что огненный шар ведет себя не совсем так как абсолютно черное тело, т. е. как совершенный излучатель. Как правило, доля длинноволновых излучений (более 5500А [1]) соответствует более высоким температурам абсолютно черного тела, чем доля коротковолновых излучений. Предположение, что огненный шар ведет себя так же, как абсолютно черное тело, дает возможность с достаточной приближенностью объяснить характерные черты светового излучения при ядерном взрыве. Для абсолютно черного тела распределение энергии по спектру светового излучения в зависимости от температуры поверхности может быть охарактеризовано с помощью уравнения Планка. Если через $E_\lambda d\lambda$ обозначить плотность энергии, т. е. количество световой энергии, приходящееся на единицу объема в интервале длин волн от λ до $\lambda + d\lambda$, то

$$E_\lambda = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1}, \qquad (7.78.1)$$

где c — скорость света;

h — постоянная Планка;

k — постоянная Больцмана, т. е. газовая постоянная, отнесенная к одной молекуле;

T — абсолютная температура.

Следует заметить, что hc/λ является энергией фотона с длиной волны λ (п. 170).

7.79. На основе уравнения Планка можно вычислить величину светового импульса абсолютно черного тела для данной длины волны, т. е. J_λ как функции волны любой заданной температуры, поскольку

$$J_\lambda = \frac{c}{4} E_\lambda, \qquad (7.79.1)$$

где J_λ выражается в единицах энергии (эрг) на единицу площади (см^2) в единицу времени (секунда), на единицу длины волны (A). Результаты вычислений для температур от 100 000 000° (10^8) до 2000° К показаны на рис. 7.79. Из рисунка видно, что общая величина импульса, выраженная площадью под каждой кривой, с уменьшением температуры значительно уменьшается.

7.80. Важным моментом в рис. 7.79 является изменение положения кривых в зависимости от температуры. Другими словами, спектр лучистой энергии изменяется в зависимости от температуры. При высоких температурах преобладают излучения с короткой длиной волны, а при низких температурах в основном действуют длинноволновые излучения. Например, при ядерном взрыве до образования огненного шара температура составляет несколько десятков миллионов градусов К. Большая часть излучений в этот период происходит в спектре волн длиной примерно от 0,1 до 100 А, соответствующем спектру мягких рентгеновских лучей. На этом основывается ранее сделанное заключение, что первоначальное электромагнитное излучение при ядерном взрыве преимущественно состоит из рентгеновских лучей. Эти излучения поглощаются окружающей массой воздуха, в результате чего создается огненный шар, который испускает эффективное световое излучение. Поскольку температура поверхности огненного шара обычно ниже 10 000° К, излучение преимущественно идет в спектре ультрафиолетовых, видимых и инфракрасных лучей. Размеры огненного шара, в котором поглощаются рентгеновские лучи, как будет показано ниже, зависят от плотности окружающего воздуха.

[1] Буква «А» обозначает «ангстрем», т. е. 10^{-8} см,— единицу, в которой обычно выражается длина волны излучения.

7.81. Необходимо заметить, что световое излучение у поверхности земли в некоторой степени отличается от излучения у огненного шара. Причина заключается в том, что коротковолновые излучения, т. е. ультрафиолетовые лучи, проходя известное расстояние от источника излучения до поверхности земли, поглощаются

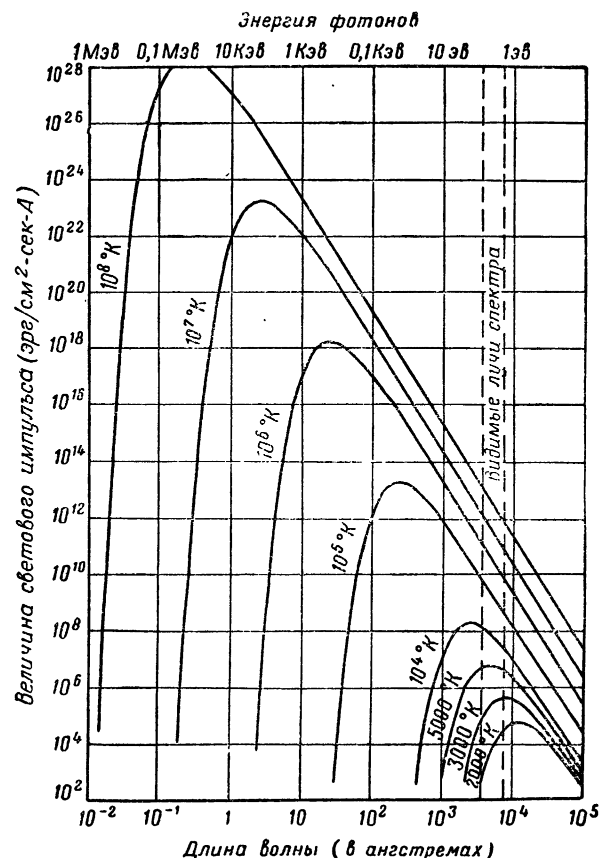


Рис. 7.79. Зависимость интенсивности излучения абсолютно черного тела от длины волны при различных температурах

быстрее, нежели другие. Световое излучение, получаемое на некотором расстоянии от места взрыва, является характерным для черного тела при температуре в 6000—7000° К, хотя и несколько обедненным в отношении ультрафиолетовых и других коротковолновых лучей. Даже если взрыв происходит на очень большой высоте, световое излучение огненного шара малой плотности на своем пути к поверхности земли должно пройти более плотные слои атмосферы. Таким образом, эффективное световое излучение, получаемое на поверхности земли, также состоит из лучей более длинной волны.

7.82. Выражение длины волны (λ_m), соответствующей максимальной силе излучения, как функции температуры абсолютно черного тела, может быть получено путем дифференцирования уравнения (7.79.1) по отношению к длине волны и приравнивания результата к нулю. Таким образом

$$\lambda_m = \frac{C}{T}, \tag{7.82.1}$$

где C — постоянная величина, равная $2{,}90 \cdot 10^7$ ангстремов-градусов К.

7.83. Температура, при которой максимум в распределении силы излучения абсолютно черного тела находится в диапазоне видимых лучей спектра, т. е. при длине волн 3850 *A*, может быть найдена из уравнения (7.82.1) и равняется примерно 7500° К. Это очень близко к температуре огненного шара после минимума температуры, т. е. в период второго импульса излучения (рис. 2.113). Поскольку обычно температура поверхности не превышает 8000° К, а средняя температура значительно меньше, вполне очевидно, что большая часть световой энергии, испускаемой при втором импульсе, состоит главным образом из видимых и инфракрасных лучей. Это же имело место и при испытаниях, хотя поведение огненного шара на этой стадии значительно отличается от поведения абсолютно черного тела.

7.84. Средний свободный пробег (п. 2.104) фотонов рентгеновских лучей с энергией от 0,5 до 15 килоэлектронвольт при проходе в холодном воздухе с обычной для уровня моря плотностью представлен следующим приблизительным отношением.

$$\text{Средний свободный пробег} \approx \frac{E^3}{5}\ \text{см}, \tag{7.84.1}$$

где E — энергия фотонов в килоэлектронвольтах. Для того чтобы произвести расчеты расстояний по интенсивности поглощения на них рентгеновских лучей, используется средняя величина температуры, равная 10^{7}° К. Согласно уравнению (7.82.1), длина волны, при которой величина светового импульса абсолютно черного тела достигает максимума, равняется 2,9 *A*. По уравнению (1.70.2) это соответствует фотоновой энергии в 4,3 килоэлектронвольта. Следовательно, на основании уравнения (7.84.1) средний свободный пробег этих фотонов в обычном воздухе равняется примерно 15 см. Проходя расстояние в один средний пробег, энергия излучений уменьшается на коэффициент 2,7 (*e*); отсюда 90% энергии будет израсходовано в радиусе 2,3 среднего свободного пробега. Таким образом, излучение с энергией в 4,3 килоэлектронвольта в атмосфере, соответствующей условиям на уровне моря, будет поглощено на расстоянии примерно в 35 см.

7.85. Первоначальное световое излучение при ядерных взрывах охватывает широкий диапазон волн. Однако в интересах получения примерных данных о первоначальном размере огненного шара можно учитывать длины волн, соответствующих максимальной величине светового импульса. Из данных, приведенных выше, следует, что излучаемые при ядерном взрыве рентгеновские лучи почти полностью будут поглощены воздухом с нормальной плотностью на расстоянии примерно 30 см. При ядерном взрыве в атмосфере, плотность которой не отличается значительно от обычной плотности воздуха в условиях уровня моря, большая часть рентгеновских лучей, из которых состоит первичное световое излучение, будет поглощена в пределах нескольких десятков сантиметров от места взрыва. Именно в результате такого процесса при ядерном взрыве создается в воздухе огненный шар в его первоначальном виде.

7.86. При увеличении высоты плотность воздуха будет уменьшаться в 10 раз через каждые 16 км. Таким образом, при высоте 45 000 м плотность воздуха по сравнению с его плотностью в условиях уровня моря будет в 1000 раз меньше. Средний свободный пробег фотона изменяется обратно пропорционально изменению плотности атмосферы. Так, при ядерных взрывах на высоте около 45 км район нагретого рентгеновскими лучами воздуха измеряется радиусом в несколько тысяч метров. Несмотря на низкую плотность, масса нагретого воздуха в этом большом районе гораздо больше, нежели в огненном шаре, образующемся при ядерных взрывах на меньших высотах, а следовательно, и температура воздуха меньше.

7.87. На высотах порядка 30 000—100 000 м процесс испускания светового излучения при ядерном взрыве несколько отличается от этого процесса при взрывах на низких высотах. На высоте 100 000 м при ядерных взрывах мощностью от 1 килотонны до 1 мегатонны размер района с нагретым воздухом соответственно будет от 800 до 10 000 м. Время образования ударной волны при взрывах данной мощности будет порядка 0,1—1 секунды. В силу причин, изложенных выше, световое излучение испускается огненным шаром одним импульсом сравнительно небольшой продолжительности. Имеющиеся весьма ограниченные данные указывают на то, что получаемое поверхностью земли количество светового излучения при взрывах на большой высоте соответствует величинам, приведенным в п. 7.25, т. е. составляет примерно 25—35% общей энергии, высвобождающейся при ядерном взрыве.

7.88. На высотах более 100 000 м плотность воздуха 10^{-7} раз меньше его плотности в условиях уровня моря. Средний свободный пробег образующихся при ядерном взрыве рентгеновских лучей составляет несколько сот километров. Несмотря на низкую плотность, масса воздуха, поглощающая световую энергию, составляет многие миллионы тонн. Поэтому значительного повышения температуры не будет. При низких температурах воздуха световое излучение ядерного взрыва мегатонной мощности не в состоянии причинить повреждения на поверхности земли.

Энергия светового излучения, испускаемого огненным шаром

7.89. Согласно закону Стефана — Больцмана, общее количество энергии (для волн всех длин) (J), излучаемое в течение 1 секунды с одного квадратного сантиметра поверхности абсолютно черного тела во всех направлениях, связано с абсолютной температурой T уравнением

$$J = \sigma T^4, \qquad (7.89.1)$$

где σ — постоянная Стефана — Больцмана. Величина J может быть также получена путем интегрирования уравнения (7.79.1) при диапазоне длин волн от 0 до бесконечности. Тогда будет найдено, что

$$\sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15h^3c^2} = 1{,}38 \cdot 10^{-12} \frac{\text{кал}}{\text{см}^2\text{сек град}^4\,\text{К}}.$$

Определив σ, можно легко вычислить величину интенсивности общей лучистой энергии, испускаемой огненным шаром, при условии, что огненный шар ведет себя как абсолютно черное тело.

7.90. В соответствии с приведенным выше определением следует, что общая величина светового импульса может быть получена путем умножения выражения, приведенного в уравнении (7.89.1), на площадь огненного шара. Если R — радиус огненного шара, то его поверхность составит $4\pi R^2$, и, таким образом, общая величина светового импульса будет равняться выражению $\sigma T^4 \cdot 4\pi R^2$. Если это число выразить буквой P, то

$$P = 4\pi\sigma T^4 R^2 = 1{,}71 \cdot 10^{-11} T^4 R^2 \text{ кал/сек}, \qquad (7.90.1)$$

где T — в градусах Кельвина;
R — в сантиметрах.

7.91. Величина светового импульса является функцией времени t для каждого взрыва. Однако, вместо того чтобы каждый раз строить график зависимости P от t, можно построить кривую зависимости между приведенной величиной светового импульса, представляющей собой отношение $\frac{P}{P_{max}}$, и приведенным временем, которое выражается через отношение $\frac{t}{t_{max}}$, где P_{max} — максимальная величина светового импульса, соответствующая максимуму температуры во втором импульсе излучения, а t_{max} — время, в течение которого этот максимум достигается. Производная кривая (левая ордината), показанная на рис. 7.91, пригодна для любого ядерного взрыва, независимо от его мощности. Нуль оси приведенного времени представляет собой время первого минимума. Как показано в п. 2.116, оно приблизительно равняется $0{,}0025 \cdot W^{1/2}$ секунды, где W представляет собой мощность взрыва

в килотоннах. Первый импульс излучения настолько непродолжителен, что количество энергии светового излучения, полученное до первого минимума, составляет только около 1% общей энергии.

7.92. Для того чтобы кривая зависимости величины светового импульса от времени стала пригодной для любого взрыва заданной мощности, необходимо знать соответствующие величины P_{max} и t_{max}. Эти величины связаны с мощностью взрыва, выраженной в килотоннах, приблизительно следующим образом

$$P_{max} \approx 4 \cdot W^{1/2} \text{ кт/сек}$$

и

$$t_{max} \approx 0{,}032 \cdot W^{1/2} \text{ сек.}$$

Для взрывов в мегатонном диапазоне значение t_{max} может быть несколько меньше указанного в приведенном выражении. При наземном (надводном) взрыве огненный шар образуется путем, при-

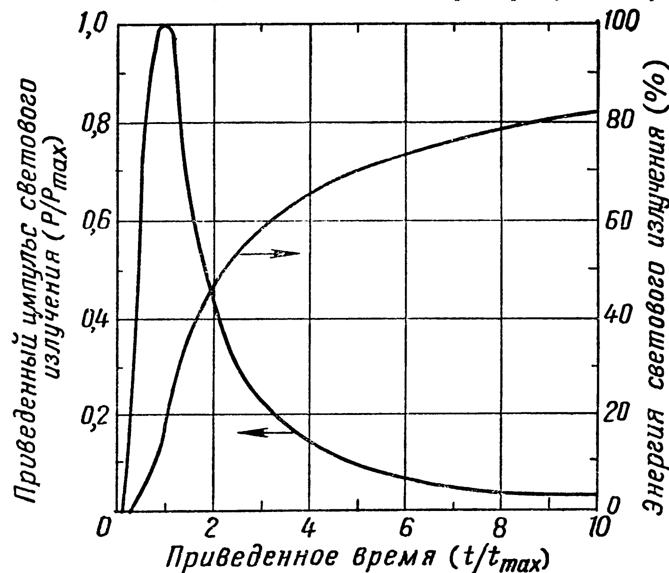


Рис. 7.91. Зависимость приведенного импульса светового излучения и доли энергии, выделившейся в виде светового излучения, от приведенного времени для второго импульса светового излучения воздушного ядерного взрыва

мерно сходным с его образованием во время воздушного взрыва в два раза большей мощности, потому что энергия ударной волны отражается от поверхности и снова направляется в огненный шар. Отсюда t_{max} при фактически одной и той же мощности может оказаться несколько больше, нежели во время воздушного взрыва.

Кривые, показанные на рис. 7.91, выражают зависимость приведенного светового импульса $\frac{P}{P_{max}}$ (левая ордината) и доли общей световой энергии $\frac{E}{E_{общ}}$ (правая ордината), выделенной во втором световом импульсе воздушного взрыва и выраженной в процентах, от приведенного времени $\frac{t}{t_{max}}$.

Метод расчета. Чтобы применить данные, приведенные на рис. 7.91, к взрыву любой мощности W килотонн тротилового эквивалента, можно использовать следующие выражения:

$$P_{max} \approx 4W^{1/2} \frac{\text{кт}}{\text{сек}},$$

$$t_{max} \approx 0{,}032W^{1/2} \text{ сек},$$

$$E_{общ} \approx {}^1/_3 W \text{ кт},$$

где t_{max} — время после взрыва, в течение которого достигается максимум температуры во втором импульсе светового излучения;

P_{max} — максимальная величина светового импульса в момент времени t_{max};

$E_{общ}$ — общее количество световой энергии, испускаемой огненным шаром во втором импульсе.

Пример.

Дано. Мощность ядерного взрыва 500 килотонн.

Определить. а) Величину светового импульса.

б) Количество световой энергии, испускаемой огненным шаром через 2 секунды после взрыва.

Решение. Поскольку $W=500$ кт, то $W^{1/2}=22{,}4$; тогда $t_{max}=0{,}032 \cdot 22{,}4=0{,}72$ сек, а приведенное время для 2 сек после взрыва составит

$$\frac{t}{t_{max}} = \frac{2{,}0}{0{,}72} = 2{,}8.$$

а) Из рис. 7.91 находим, что при $\frac{t}{t_{max}} = 2{,}8$ величина $\frac{P}{P_{max}} = 0{,}26$, а так как $P_{max}=4 \cdot 22{,}4=90$ кт/сек, то $P=0{,}26 \cdot 90=23$ кт/сек $=23 \cdot 10^{12}$ кал/сек.

б) По величине приведенного времени, равной 2,8, из рис. 7,91 находим, что величина $\frac{E}{E_{общ}} = 58\% = 0{,}58$, а $E_{общ} = \frac{1}{3} \cdot 500 = 167$ килотонн; следовательно, $E=0{,}58 \cdot 167=97$ килотонн $=97 \cdot 10^{12}$ кал.

7.93. Количество световой энергии E, излучаемое огненным шаром до определенного момента времени, можно определить путем измерения площади под кривой зависимости P от t, ограниченной заданным временем. Результаты таких вычислений, выраженные в зависимости $\frac{E}{E_{общ}}$ от $\frac{t}{t_{max}}$, показаны второй кривой на

рис. 7.91 (правая ордината). Величина $E_{общ}$ представляет собой общую энергию светового излучения, испускаемую огненным шаром во время второго импульса. Она может составлять от 30 до 40% мощности взрыва, но в данный момент, в силу изложенных в п. 7.04 причин, можно принять, что

$$E_{общ}\ (кт) \approx {}^{1}/_{3} W. \qquad (7.93.1)$$

В этом равенстве световая энергия выражена в килотоннах, но, если необходимо выразить ее в калориях, результат следует помножить на 10^{12}.

7.94. Кривые, приведенные на графике рис. 7.91, имеют некоторые особенности, представляющие особый интерес. Как и следовало ожидать, во втором импульсе излучения скорость испускания огненным шаром лучистой энергии, так же как и температура, возрастает до максимума. Поскольку величина импульса светового излучения примерно пропорциональна величине абсолютной температуры в четвертой степени (T^4), то она увеличивается или уменьшается гораздо быстрее, чем температура. Этим, собственно, и объясняется резкое повышение до максимума значения $\frac{P}{P_{max}}$; после достижения максимума значение этого отношения уменьшается менее резко. По мере того как огненный шар достигает последней стадии своего развития, кривая, характеризующая величину отношения $\frac{P}{P_{max}}$, становится все более плавной.

7.95. С точки зрения защиты от действия светового излучения (вызывающего ожоги кожи и, возможно, поражение глаз) посредством пассивных мер важной величиной является t_{max}, поскольку величина импульса светового излучения, испускаемого в этот момент огненным шаром, имеет максимальное значение. Как указывалось в п. 7.92, t_{max} возрастает пропорционально корню квадратному из величины мощности взрыва. Таким образом, для взрыва мощностью 10 килотонн t_{max} составляет около 0,1 секунды, а для взрыва мощностью 10 мегатонн это время равно примерно 3 секундам. Следовательно, на соответственных расстояниях от центра взрыва, на которых могут возникать сильные ожоги кожи, пассивные меры защиты будут более успешными при воздушном взрыве большой мощности. Другой способ выражения зависимости значения t_{max} от мощности взрыва приводится на рис. 7.95, на котором дана величина (в процентах) суммарной энергии светового излучения, испускаемого в различное время с момента достижения первого минимума при воздушных взрывах мощностью 10 и 100 килотонн, а также 1 и 10 мегатонн. В каждом случае при достижении t_{max} будет выделено около 20% энергии светового излучения. При значении времени, равном $10 \cdot t_{max}$, которое принимается как эффективное время продолжительности второго светового импульса, выделяется около 80% энергии светового излучения.

7.96. Описанные выше данные применимы к взрывам, осуществляемым на высотах ниже 30 км, т. е. на высотах, на которых еще сохраняется достаточная плотность воздуха. По мере увеличения высоты внешняя картина развития огненного шара изменяется, как указано в главе 2, и на высотах, превышающих 30 км, по существу, вся энергия светового излучения испускается за один импульс в течение короткого времени. Например, при взрыве мощностью порядка нескольких мегатонн, осуществленного на высоте 76 км, продолжительность светового импульса составит менее

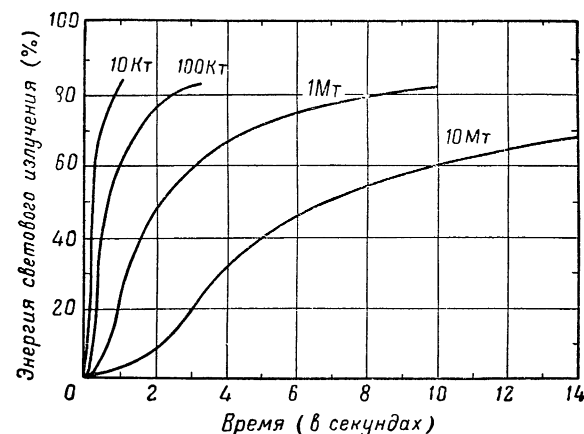


Рис. 7.95. Зависимость доли энергии, выделившейся в виде светового излучения, от времени для воздушных взрывов различной мощности

1 секунды. Определение приведенной величины продолжительности светового импульса как функции мощности взрыва является очень сложным и зависит от совокупности различных факторов. Однако продолжительность светового импульса, по-видимому, не в очень сильной степени зависит от общей мощности взрыва. На более значительных высотах продолжительность светового импульса, возможно, будет больше, так как светящийся огненный шар в этом случае имеет более значительную массу и более низкую температуру.

7.97. Оказывается, что в условиях, при которых человек, находящийся на поверхности земли, получает значительное количество светового излучения, достаточного для возникновения ожогов кожи, время испускания этого излучения настолько мало, что не представляется возможным предпринять какие-либо меры защиты. При взрывах мощностью порядка нескольких мегатонн, происходящих вблизи нижней границы больших высот, т. е. примерно на высоте около 32 км, возможны ожоги кожи у человека, находящегося на поверхности земли. Однако при взрывах на

более значительных высотах мало вероятно, что человек, находящийся на большом расстоянии от центра взрыва, получит такие ожоги. С другой стороны, с увеличением высоты взрыва увеличивается вероятность поражения глаз, особенно в виде вспышечной слепоты (п. 7.37). За время рефлексного мигания глаз (продолжительностью 0,15 секунды) значительная часть светового излучения при ядерном взрыве на большой высоте достигнет поверхности земли. Кроме того, свет, испускаемый огненным шаром, будет видимым на большой площади. В действительности вполне возможно, что ядерный взрыв мощностью порядка нескольких мегатонн, осуществленный на большой высоте, смог бы оказать поражающее действие на глаза на всех расстояниях, вплоть до линии горизонта земной поверхности.

Зависимость энергии светового излучения от расстояния

7.98. Следующим вопросом, который необходимо рассмотреть, является изменение общей величины светового импульса в зависимости от расстояния. Как указывалось в предыдущих разделах настоящей главы, данные об изменении величины поглощенного светового импульса от расстояния в сочетании с данными, приведенными на рис. 7.46, а также в таблицах 7.40 и 7.44, позволяют ориентировочно определить расстояния, на которых будет наблюдаться то или иное поражающее действие светового излучения.

7.99. Если бы световое излучение не ослаблялось атмосферой, то общее количество световой энергии $E_{общ}$ на расстоянии D от центра взрыва распределялось бы равномерно по поверхности сферы, имеющей площадь $4\pi D^2$. Таким образом, количество световой энергии, падающей на единицу площади этой сферы, составило бы $\frac{E_{общ}}{4\pi D^2}$. Если бы ослабление светового излучения происходило только в результате его поглощения однородной атмосферой, то величину $E_{общ}$ необходимо было бы умножить на коэффициент e^{-kD}, где k представляет собой усредненный коэффициент поглощения, применимый для всех длин волн спектра излучения. Отсюда следует, что при этих условиях величина поглощенного светового импульса Q, т. е. количество световой энергии, полученной единицей площади, расположенной перпендикулярно направлению распространения светового излучения на расстоянии D от центра взрыва, составит

$$Q = \frac{E_{общ}}{4\pi D^2} e^{-kD}. \qquad (7.99.1)$$

7.100. Когда помимо поглощения происходит также рассеяние светового излучения, то коэффициент k уже не является постоянной величиной, а представляет собой функцию расстояния, и поэтому выражать ослабление светового излучения посредством экс-

поненциального множителя неудобно. Гораздо более удобной является следующая формула:

$$Q = \frac{E_{общ} T}{4\pi D^2}, \qquad (7.100.1)$$

где T — коэффициент пропускания, т. е. часть излучения (прямого или рассеянного), которая достигает расстояния D; величина этой части является сложной функцией дальности видимости (рассеяния), поглощения и расстояния [1].

7.101. Зависимость количества энергии светового излучения $E_{общ}$, испускаемого при ядерном взрыве, от мощности взрыва может быть выражена следующим общим выражением:

$$E_{общ} = f \cdot W, \qquad (7.101.1)$$

где f — часть общей мощности взрыва, выделенной в виде светового излучения. Отсюда, заменив в уравнении (7.100.1) $E_{общ}$ на $f \cdot W$, можно выразить величину поглощенного светового импульса как

$$Q = \frac{fTW}{4\pi D^2}. \qquad (7.101.2)$$

7.102. При испытании ядерного оружия имеется возможность измерить величины Q и W, и поскольку расстояние D от центра взрыва является величиной известной, то из уравнения (7.101.2) можно будет определить значение произведения $f \cdot T$. Для определения f необходимо знать значение абсолютной температуры слоя атмосферы T, лежащего между взрываемым боеприпасом и рассматриваемой точкой пространства. Однако на большом расстоянии прозрачность атмосферы изменяется в зависимости от времени и направления, поэтому в момент времени, когда замеряется величина Q, значение f не может быть определено с точностью, большей чем $\pm 20\%$. Следовательно, используются средние значения T, которые приводятся на рис. 7.104. Применяя эти данные и анализируя значения произведения $f \cdot T$, полученные во время многочисленных испытаний ядерного оружия, было найдено, что при воздушном взрыве величина f колеблется от 0,3 до 0,4 (в среднем 0,33).

7.103. Исходя из того факта, что при взрыве мощностью в 1 килотонну выделяется 10^{12} калорий энергии и принимая величину f равной $1/3$, уравнение (7.101.2) для воздушного взрыва приобретает вид

$$Q\ (\text{кал/см}^2) = \frac{10^{12} WT}{12\pi D^2}, \qquad (7.103.1)$$

[1] Рассеянное световое излучение не вызывает необратимого поражения сетчатки глаз. Следовательно, для определения величины эффективной дозы излучения необходимо воспользоваться уравнением (7.99.1); при дальности видимости, равной 80 км, значение коэффициента $k \approx 0{,}03$ км$^{-1}$; при дальности видимости 40 км $k \approx 0{,}1$ км$^{-1}$; при дальности видимости 20 км $k \approx 0{,}2$ км$^{-1}$. Однако рассеянное световое излучение может усилить вспышечную слепоту, вызываемую ослепляющим действием яркого света.

где D выражено в сантиметрах. Если расстояние от центра взрыва выражено в километрах, то, осуществив в уравнении (7.103.1) сокращения, получим приблизительное выражение для определения Q:

$$Q\ (\text{кал/см}^2) \approx \frac{2{,}65 \cdot W \cdot T}{D^2}, \qquad (7.103.2)$$

где D выражено в километрах.

7.104. Значение T при данных атмосферных условиях зависит от величины пространственного угла, в пределах которого рассеянное излучение достигает определенного облучаемого объекта. Для упрощения расчетов допускается, что этот объект имеет такую форму, что рассеянное излучение, получаемое им в дополнение к прямолинейному световому излучению, падает на него сверху со всех направлений. Изменение коэффициента пропускания в зависимости от расстояния от центра взрыва для двух различных расстояний видимости приводится на рис. 7.104. Одна кривая характеризует изменение коэффициента пропускания при дальности видимости, равной 80 км, и содержании влаги в воздухе в количестве 5 г в 1 м³, а другая кривая — при видимости 16 км и содержании влаги в количестве 10 г в 1 м³ воздуха. В каждом случае данные, приведенные на графиках, считаются достаточно точными на расстояниях, равных половине дальности видимости.

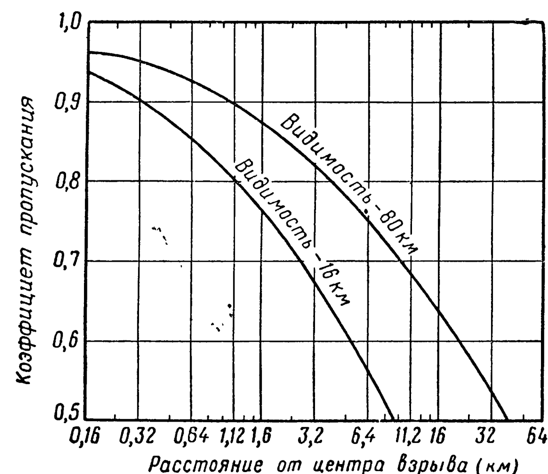


Рис. 7.104. Зависимость пропускания светового излучения от расстояния при дальности видимости от 16 до 80 км

7.105. Для упрощения пользования уравнением 7.103.2 на рис. 7.105 в виде графика вычерчены значения величины поглощенного светового импульса Q в калориях на квадратный сантиметр, получаемые на различных расстояниях (D) от центра воздушного взрыва мощностью в 1 килотонну. Результаты, получаемые при использовании этих данных, достаточно точны при условии, что значение D меньше половины соответствующей дальности видимости, лежащей между 16 и 80 км. Если расстояния, представляющие практический интерес, оказываются больше, чем половина дальности видимости, то

величина поглощенного светового импульса, определяемая с помощью графика рис. 7.105, будет менее точной.

График, изображенный на рис. 7.105, который для удобства пользования им состоит из двух частей, показывает зависимость величины поглощенного светового импульса в кал/см² на различных расстояниях от центра воздушного взрыва мощностью 1 килотонна при дальности видимости в атмосфере от 16 до 80 км.

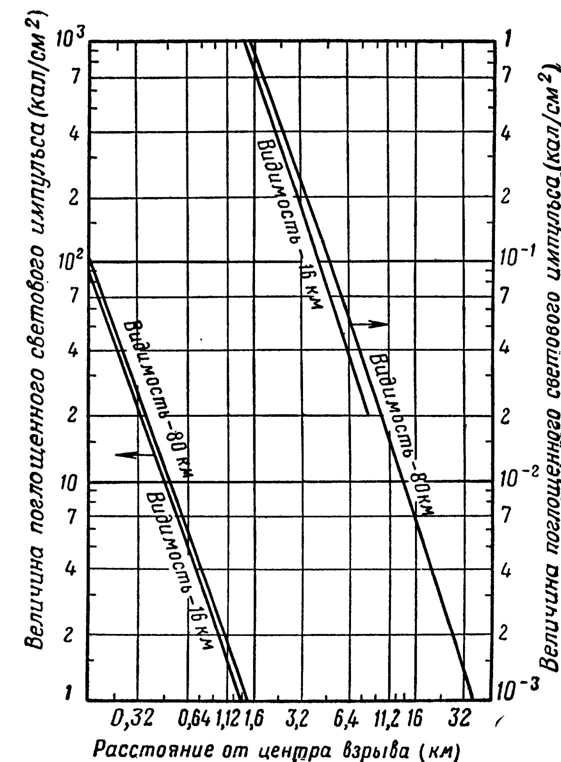


Рис. 7.105. Зависимость величины поглощенного светового импульса от расстояния для воздушного ядерного взрыва мощностью в 1 килотонну при дальности видимости от 16 до 80 км

Метод расчета. Величина поглощаемого светового импульса на любом заданном расстоянии от центра взрыва мощностью W килотонн в W раз больше величины поглощенного светового импульса на том же расстоянии при взрыве мощностью 1 килотонна.

Пример.

Дано. Мощность воздушного взрыва составляет 100 килотонн при дальности видимости от 16 до 80 км.

Определить. Величину поглощенного светового импульса на расстоянии 4,8 км от центра взрыва.

Решение. Из графика рис. 7.105 находим, что величина поглощенного светового импульса на расстоянии 4,8 км от центра воздушного взрыва мощностью 1 килотонна составляет примерно 0,07—0,1 кал/см². Следовательно, величина поглощенного светового импульса на расстоянии 4,8 км от центра воздушного взрыва мощностью 100 килотонн составит примерно $100 \cdot 0{,}07 = 7$ кал/см² или $100 \cdot 0{,}1 = 10$ кал/см².

7.106. При наземном взрыве величины светового импульса на поверхности земли будут меньше, чем при воздушном взрыве такой же мощности, осуществляемом на таком же расстоянии. Эта разница возникает частично из-за того, что как указано в п. 7.23, прозрачность нижнего слоя окружающего воздуха оказывается меньшей ввиду наличия в нем пыли и паров воды, образованных в результате взрыва. Кроме того, нормальная атмосфера, прилегающая к поверхности земли, передает лучистую энергию в меньшей степени, чем на больших высотах. Таким образом, при наземном взрыве величина поглощенного светового импульса по сравнению с величиной этого импульса, определяемой на основе уравнения (7.103.2) и рис. 7.105 для воздушного взрыва, составляет на малом расстоянии три четверти, а на большом расстоянии половину величины импульса при воздушном взрыве. Другими словами, коэффициент f уравнения (7.101.2) имеет значения, равные от $\frac{1}{4}$ до $\frac{1}{7}$. Таким образом, при наземном взрыве

$$Q\ (\text{кал/см}^2) \approx \text{от } 2{,}0 \text{ до } 1{,}3 \cdot \frac{WT}{D^2}, \qquad (7.106.1)$$

где D — расстояние в километрах. Оказывается, что по мере увеличения мощности взрыва величина поглощенного светового импульса имеет тенденцию к увеличению в бо́льших пределах, чем это дается уравнением (7.106.1).

7.107. При определении величины поглощенного светового импульса на некотором расстоянии от центра ядерного взрыва, осуществленного на большой высоте, уравнение (7.101.2) необходимо видоизменить по двум причинам. Во-первых, при взрывах, осуществляемых на высотах от 30 до 110 км световой импульс, способный вызвать поражение кожи, составляет приблизительно 25—35% общей мощности взрыва. Поправки на эту разницу могут быть внесены за счет значения $E_{\text{общ}}$, которое принимается равным $0{,}25 \cdot W$ килотонн.

7.108. Во-вторых, световое излучение, распространяясь от точки взрыва к поверхности земли, проходит через зоны, в которых плотность атмосферы непрерывно изменяется и является значительно меньшей, чем на уровне моря. Ослабление светового излучения может быть приближенно определено, если использовать понятие так называемой приведенной высоты атмосферы. Эта высота равна отношению общей массы вертикального столба воздуха к плотности воздуха на уровне моря. В точке, находящейся на

уровне моря, величина приведенной высоты атмосферы составляет примерно 8 км. Если взрыв происходит, например, на высоте H км, то при определении степени ослабления светового излучения допускается, что световое излучение проходит в вакууме расстояние,

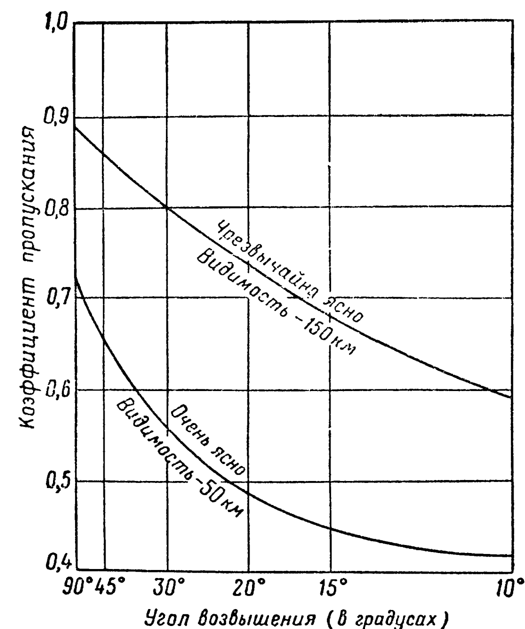


Рис. 7.109. Зависимость пропускания светового излучения от угла возвышения (для расчета дозы излучения при ядерных взрывах на большой высоте)

равное $H - 8$ км, а также 8 км слоя атмосферы с нормальным уровнем давления. Если центр взрыва не находится непосредственно над объектом, а расположен под некоторым углом возвышения φ по отношению к горизонту, то соответствующие расстояния будут равны $(H - 8) \sin \varphi$ и $\frac{8}{\sin \varphi}$ соответственно.

7.109. Из рассмотренных выше доводов следует, что для взрыва, осуществляемого на большой высоте, уравнение 7.103.2 может быть записано в следующем приближенном общем виде:

$$Q\ (\text{кал/см}^2) \approx \frac{1{,}97 \cdot W \cdot T}{H^2} \sin^2 \varphi, \qquad (7.109.1)$$

где T — коэффициент пропускания воздуха для угла φ.

Если взрыв происходит непосредственно в зените, то $\varphi = 90°$, а $\sin^2 \varphi = 1$. Значения проводимости воздуха как функции угла

в конце первой недели (7 дней) интенсивность излучения будет составлять одну десятую долю интенсивности, наблюдавшейся спустя 1 день после взрыва. Это правило дает точность определения до 25% для периода порядка двух недель и точность приблизительно 50% для периода в 6 месяцев после ядерного взрыва. В дальнейшем интенсивность излучения уменьшается быстрее, чем это предусмотрено данной закономерностью.

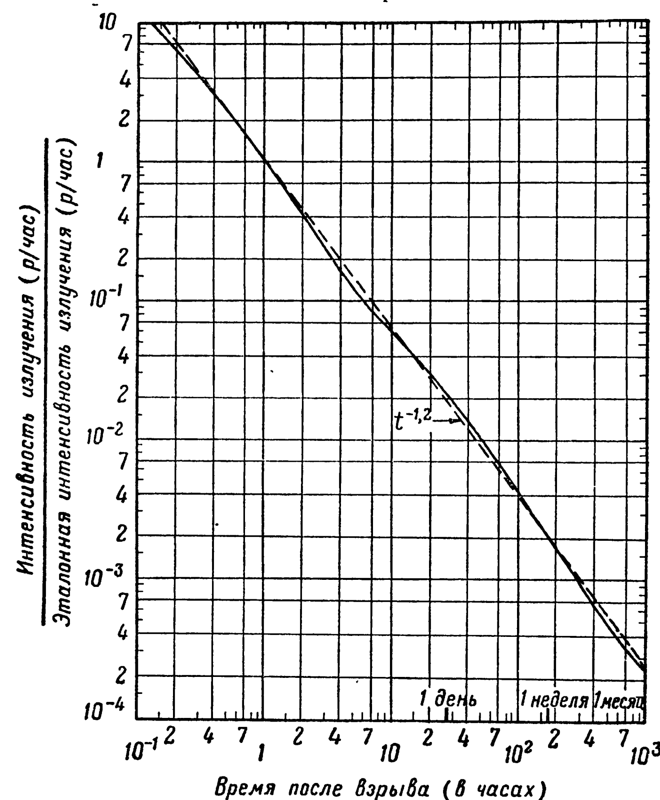


Рис. 9.16а. Зависимость интенсивности излучения для раннего выпадения радиоактивных продуктов взрыва от времени

9.16. Данные относительно понижения радиоактивности частиц при ранних выпадениях могут быть получены из сплошной кривой, изображенной на рис. 9.16а и 9.16б, где приблизительно показано отношение интенсивности излучения (в рентген/час) в какой-то момент после взрыва к величине, именуемой «эталонной интенсивностью излучения» как функции времени [1].

[1] О значении пунктирной линии, обозначенной $t^{-1,2}$, говорится в п. 9.170, где будет дано толкование физического смысла понятия «эталонная интенсивность излучения».

9.17. Предположим, например, что в данном месте выпадение продуктов взрыва начинается через 5 часов после взрыва и что через 15 часов, когда это выпадение закончится, интенсивность излучения в этом месте составит 4,0 р/час. Из графика на рис. 9.16а (или таблицы 9.19) видно, что через 15 часов после

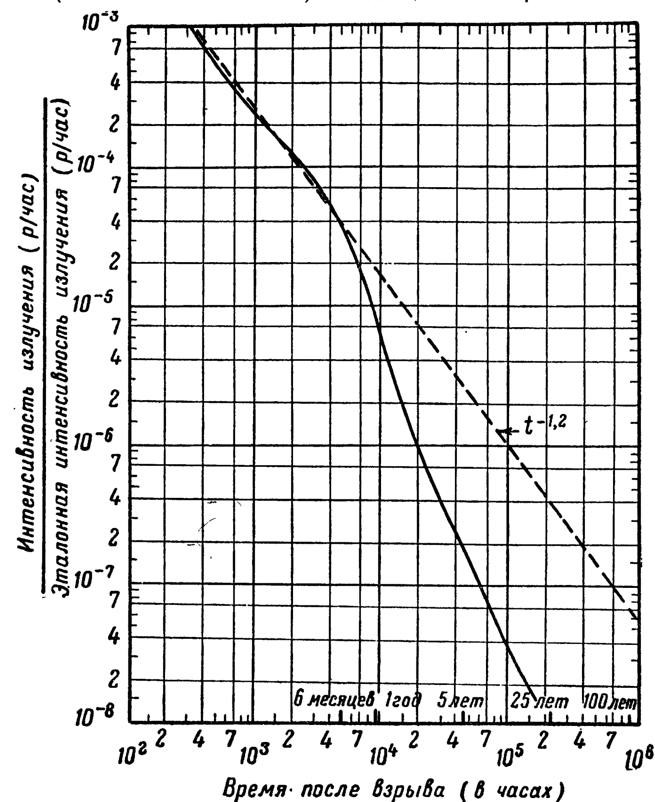


Рис. 9.16б. Зависимость интенсивности излучения для раннего выпадения радиоактивных продуктов взрыва от времени

взрыва отношение фактической измеренной интенсивности излучения к эталонной интенсивности излучения составляет 0,040; следовательно, эталонная интенсивность излучения должна быть равна 4,0/0,040=100 р/час. При помощи этого эталонного значения и кривых распада на рис. 9.16а и 9.16б можно определить практическую интенсивность излучения, наблюдаемую в данном месте в любое время после полного завершения выпадения радиоактивных продуктов взрыва.

Таким образом, если требуется определить интенсивность излучения через 24 часа после взрыва, то берется точка на абсциссе, соответствующая 24 часам. Если продолжить вертикальную линию

после взрыва суммарная доза достигает уже более 3000 р, а спустя 18 часов — около 4800 р. Затем суммарная доза будет продолжать возрастать со временем, стремясь к предельному значению, но увеличиваясь медленнее.

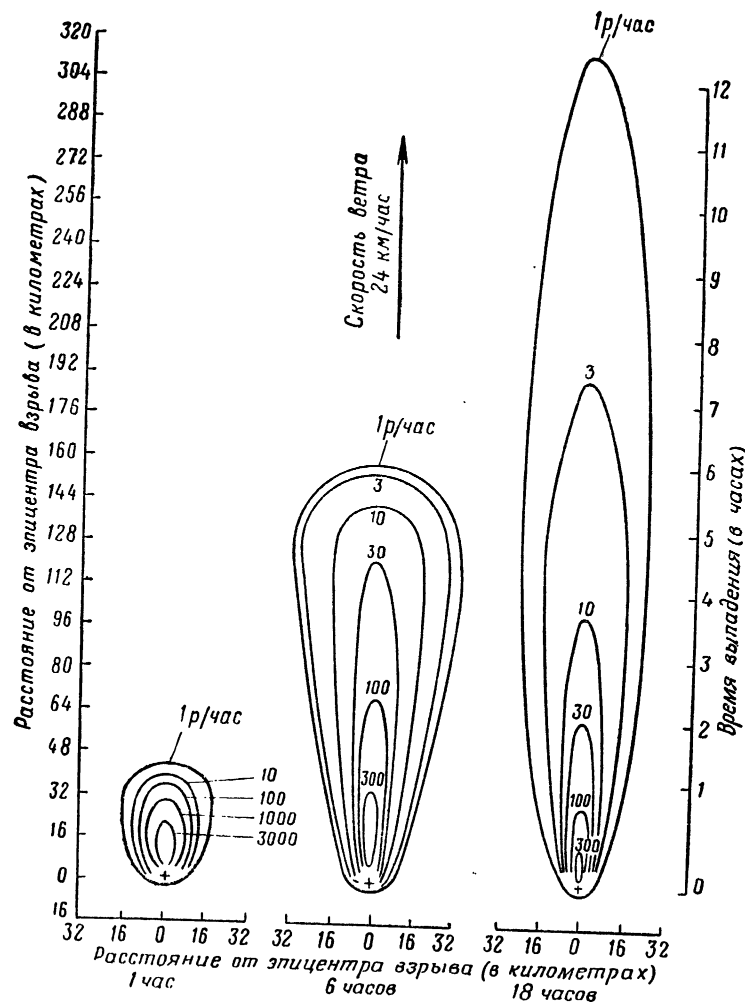


Рис. 9.67а. Различные значения интенсивности излучения, обусловливаемые ранним выпадением радиоактивных продуктов взрыва через 1, 6 и 18 часов после наземного ядерного взрыва мощностью в 1 мегатонну (средняя скорость ветра 24 км/час)

9.69. Теперь рассмотрим участок местности на расстоянии 160 км от эпицентра взрыва с подветренной стороны от него. Через 1 час после взрыва интенсивность излучения, как это видно

из рис. 9.67а, будет равна нулю; выпадение радиоактивных продуктов взрыва в данном районе еще не началось. Через 6 часов интенсивность излучения приблизительно равна 1 р/час, а через

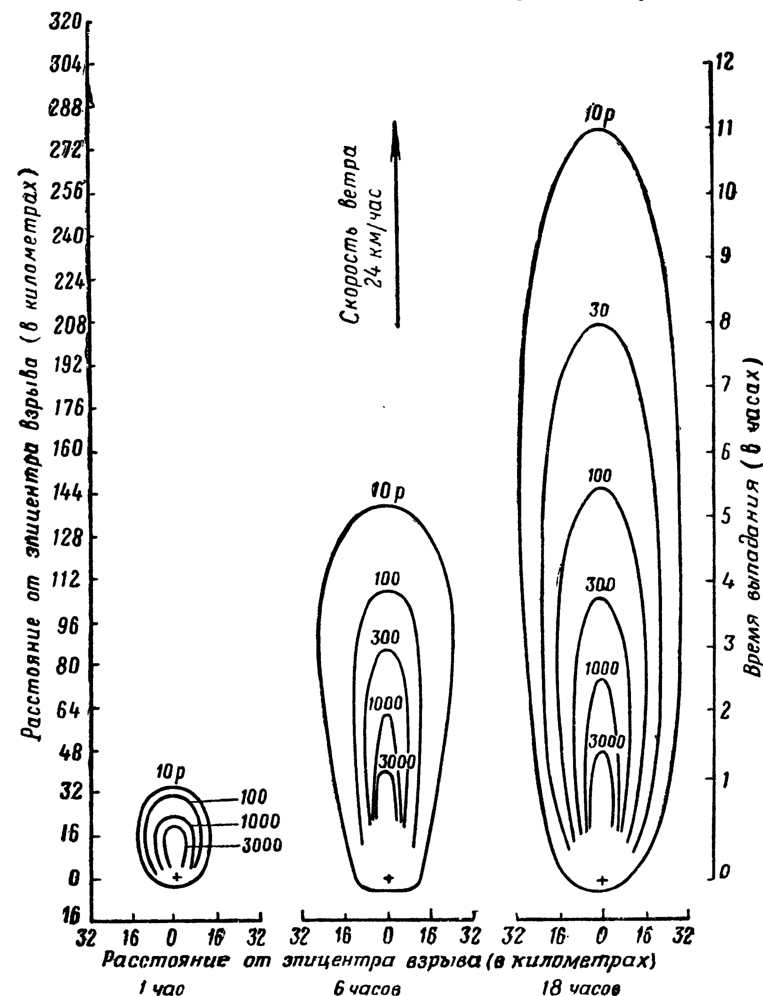


Рис. 9.67б. Различные значения суммарной дозы излучения, обусловливаемые ранним выпадением радиоактивных продуктов взрыва через 1, 6 и 18 часов после ядерного взрыва мощностью в 1 мегатонну (средняя скорость ветра 24 км/час)

18 часов — приблизительно 5 р/час. Выпадение радиоактивных продуктов взрыва начинается примерно на шестом часу, а через 9 часов оно в основном заканчивается, хотя установить этот факт непосредственно по приведенным контурам весьма затруд-

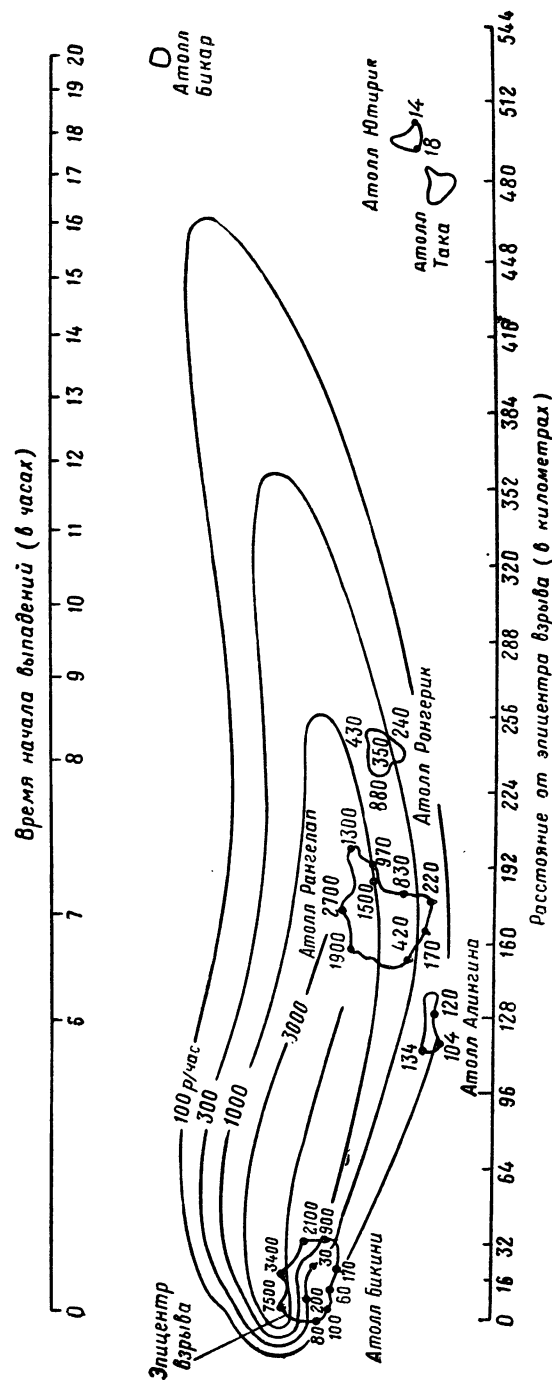


Рис. 9.101. Расчетная схема контуров интенсивности излучения (через 96 часов после взрыва «Браво»)

активных продуктов взрыва началось через 4—6 часов после взрыва и продолжалось в течение нескольких часов.

9.105. На северо-западной оконечности атолла, в 160 км от места взрыва, суммарная доза, полученная в течение первых 96 часов после начала выпадения радиоактивных продуктов взрыва, составила 3300 р. Это было наиболее интенсивное заражение, зарегистрированное когда-либо на таком расстоянии от места взрыва, и его можно рассматривать как участок повышенной радиоактивности. Примерно в 40 км южнее и в 180 км от эпицентра взрыва суммарная доза для этого же времени составляла только 220 р. Жители атолла Ронгелап, находившиеся в этом районе до их эвакуации в течение 44 часов после начала выпадения радиоактивных продуктов взрыва (п. 11.126), получили суммарную дозу в 175 р. Максимальные теоретически возможные дозы излучения

Таблица 9.105

Расчетные дозы излучения, обусловленные выпадением радиоактивных веществ на двух участках местности на атолле Ронгелап после взрыва у атолла Бикини 1 марта 1954 года

Время после взрыва	Суммарная доза за данное время (р)	
	населенный район	ненаселенный район
Первые 96 часов	220	3300
От 96 часов до 1 недели	35	530
От 1 недели до 1 месяца	75	1080
От 1 месяца до 1 года	75	1100
Всего за 1 год	405	6010
Свыше 1 года	Около 8	Около 115

для этих двух участков атолла для различных промежутков времени после взрыва, вычисленные по кривым радиоактивного распада, приведены в таблице 9.105.

9.106. Следует подчеркнуть, что в таблице 9.105 указаны максимально возможные в данной местности вычисленные суммарные дозы, так как при подсчете их значений предполагалось, что люди, подвергающиеся облучению, находятся вне укрытий (на открытой местности) в течение всех суток и что никаких мер по дезактивации в течение этого времени не предпринималось. Кроме того, данные таблицы не учитывают влияния выветривания (возможного рассеивания частиц ветром). Интенсивность излучения, измеренная в некоторых районах Маршальских островов, на 25-й день после взрыва оказалась примерно на 60% меньше расчетной величины. Известно, что на второй неделе там прошли дожди, и этим, вероятно, объясняется значительное уменьшение интенсивности излучения.

теплой летней погоды во время налетов люди были очень легко одеты. Если бы в момент взрыва земля была закрыта облачностью или туманом, то действие светового излучения оказалось бы в какой-то мере ослабленным и световых ожогов было бы значительно меньше. С другой стороны, в случае холодной погоды на улице было бы меньше людей и они были бы теплее одеты. При этом и число пострадавших и площадь ожогов у каждого из пострадавших были бы намного меньше, а поэтому уменьшилось бы и количество потерь.

11.15. Во всех без исключения оценках смертности отсутствуют данные о числе погибших непосредственно от действия ударной волны, проявившегося в проникновении воздуха в артерии, разрыве легких, поражении сердечной мышцы, переломах костей, разрыве кровеносных сосудов и сильной контузии. Одна из трудностей установления количественного соотношения различных форм поражения заключается в том, что многие из получивших смертельные поражения от взрывной волны пострадали и от ожогов. Как уже отмечалось ранее, у пострадавших на расстоянии до 0,8 км от эпицентра во многих случаях смерть могла бы наступить и по любой одной причине, т. е. под действием или ударной волны, или светового излучения, или ядерного излучения.

11.16. Однако необходимо подчеркнуть, что в силу целого ряда причин не все находившиеся на расстоянии до 800 м от эпицентра погибли во время взрыва. Из тех, кто прожил несколько дней после взрыва в Хиросиме и Нагасаки, многие скончались спустя несколько недель, причем симптомы заболеваний связаны с действием ядерного излучения. Как полагают, эта категория потерь составляет 5—15% от общего числа пострадавших.

Судя по приблизительным подсчетам, около 30% всех умерших в Хиросиме получили смертельные дозы ядерного излучения, хотя не во всех случаях это было непосредственной причиной смерти.

11.17. Наибольшая смертность отмечалась среди тех, кто во время взрыва находился вне помещений. Меньше пострадали те, кто в это время был в жилых домах (глинобитных с деревянным каркасом), а наименьшей была смертность среди людей, находившихся в бетонных зданиях. Эти факты подчеркивают влияние конкретных условий на число пострадавших, и показывают, что наличие каких-либо укрытий может оказаться важным фактором защиты. Установлено, например, что в радиусе около 1 км от эпицентра из общего числа людей, находившихся в обычных для Японии домах, от действия ядерного излучения погибло 50%, а среди находившихся в бетонных зданиях на том же расстоянии от эпицентра такие жертвы были редкими. Эффективность бетонных сооружений как средства защиты от всех поражений понятна из таблицы 11.17: здесь приводятся соответствующие средние расстояния между эпицентром и линией 50% летальности (после, по крайней мере, 20 дней).

Таблица 11.17

Средний радиус зоны 50% летальности (20 дней после взрыва в Хиросиме)

Средний радиус —	1,28 км
По бетонным зданиям —	0,19 км
Персонал школ:	
Внутри зданий —	0,72 км
Вне зданий —	2,10 км.

Причины поражений среди оставшихся в живых

11.18. На основании обследований большого количества японцев было составлено относительно полное представление о соотношении трех видов поражений среди лиц, подвергшихся воздействию ядерного взрыва, но оставшихся в живых. Результаты приводятся в таблице 11.18.

Необходимо отметить, что итог от сложения долей, соответствующих каждому виду поражения, превышает 100%, так как многие подверглись воздействию сразу нескольких поражающих факторов ядерного взрыва.

Таблица 11.18

Соотношение различных видов поражений среди лиц, оставшихся в живых

Вид поражения	% от общего числа оставшихся в живых
Поражения от воздействия ударной волны (механические травмы)	70
Ожоги (световым излучением и пламенем)	65
Поражения ядерным излучением	30

11.19. Среди оставшихся в живых число пострадавших от косвенного воздействия ударной волны (механические травмы), т. е. от поражений вследствие ударов летящими обломками различного характера и из-за обрушивания зданий было наименьшим среди лиц, находившихся вне укрытий, и наибольшим среди лиц, находившихся в промышленных зданиях. Рваные раны встречались у лиц, находившихся в Хиросиме на расстоянии до 3,2 км, а в Нагасаки — до 3,6 км от соответствующих эпицентров. Эти расстояния являются границей зоны значительного разрушения деревянных домов, включая повреждение окон.

11.20. При обследовании тех людей, которые остались в живых после атомного нападения в Японии, был установлен любопытный факт: количество людей, получивших тяжелые механические травмы, оказалось весьма незначительным. Так, например, переломы были обнаружены лишь у 4% оставшихся в живых. У 675 обследованных в одной из больниц не было ни одного случая перелома черепа или позвоночника и отмечен только один случай перелома бедра, хотя следовало бы ожидать, несомненно,

скорости перемещения в зависимости от мощности и условий взрыва. Эти значения зависят от коэффициента ускорения движущихся предметов; на рис. 11.42 показаны два особо интересных случая: один из них относится к осколкам стекла весом от 0,1 до 10 г (коэффициент ускорения 1,45 $см^2/г$), другой — к человеку (средний коэффициент ускорения равен 0,06 $см^2/г$); в обоих случаях величина смещения произвольно принималась равной 3 м. На рис. 11.42 скорости представлены в виде функции расстояния от эпицентра взрыва мощностью 1 килотонна: для наземного взрыва и для воздушного взрыва на высоте, при которой зона поражения ударной волной будет максимальной.

Для определения скоростей перемещения предметов при различных мощностях взрыва следует пользоваться приведенными величинами, указанными ниже.

Кривые на рис. 11.42 показывают скорости перемещения а) осколков стекла двойной прочности с массой от 0,1 до 10 г

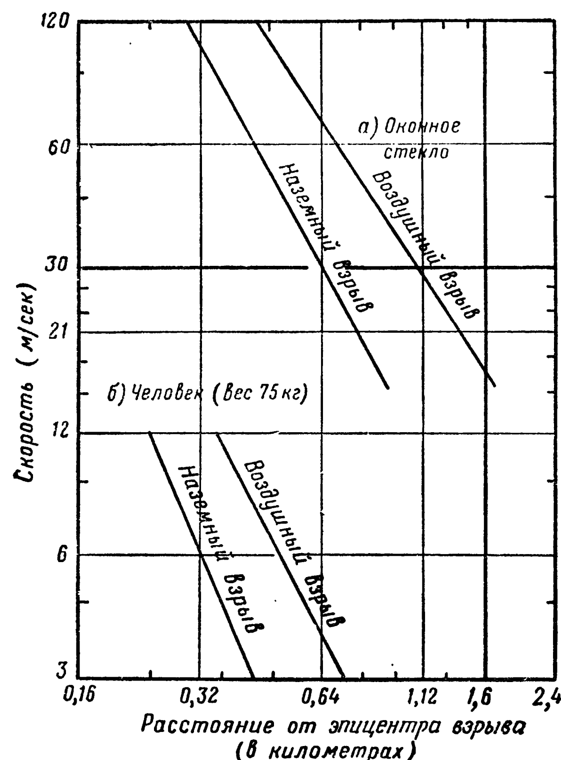


Рис. 11.42. Скорость разлета осколков оконного стекла весом 0,1—10 г и скорость смещения тела человека весом 75 кг после 3 м перемещения при наземном ядерном взрыве мощностью в 1 килотонну и оптимальных воздушных взрывах

(коэффициент ускорения 1,45 $см^2/г$) и б) человека весом 75 кг, который находится на открытом месте (коэффициент ускорения 0,06 $см^2/г$), как функции расстояния от эпицентра воздушного и наземного взрывов мощностью в 1 килотонну. Высота воздушного взрыва подбиралась с учетом достижения максимальной величины скорости.

Закон подобия. Соответствующие расстояния приводятся по следующим формулам:

$$а)\ R \approx R_1 \cdot W^{0,35}$$

$$б)\ R \approx R_1 \cdot W^{0,4},$$

где R_1 — расстояние от эпицентра взрыва мощностью в 1 килотонну, принимается по данным рис. 11.42;

R — расстояние от эпицентра взрыва мощностью в W килотонн (скорости тел одинаковы).

Пример.

Дано. Воздушный взрыв мощностью в 1 мегатонну.

Требуется определить. а) Расстояние от эпицентра взрыва, на котором небольшой осколок стекла в 3 м от разбитого окна будет иметь скорость 30 м/сек.

б) Ту скорость, которую получит человек под действием ударной волны в 3 м от начала перемещения на расстоянии 8 км от эпицентра.

Решение. а) Из графика 11.42 находим, что при взрыве мощностью в 1 килотонну расстояние от эпицентра, на котором осколки стекла получают в 3 м от окна скорость 30 м/сек, равно 1,09 км; отсюда следует, что при взрыве мощностью в 1 мегатонну искомое расстояние от эпицентра взрыва равно

$$R = R_1 \cdot W^{0,35} = 1,09 \cdot (1000)^{0,35} = 12\ км.$$

б) Искомая скорость перемещения человека, находящегося на расстоянии R_1 от эпицентра взрыва мощностью в 1 килотонну, равна скорости перемещения человека, находящегося на расстоянии R, т. е. в 8 км от эпицентра взрыва мощностью в 1 мегатонну, а значит,

$$R_1 = \frac{R}{W^{0,4}} = \frac{8}{(1000)^{0,4}} = 0,5\ км.$$

Из графика 11.42 находим, что скорость перемещения человека взрывной волной воздушного взрыва мощностью в 1 килотонну на расстоянии 0,5 км от эпицентра равна 6,3 м/сек; такова, следовательно, и скорость перемещения человека на расстоянии 8 км от эпицентра взрыва мощностью в 1 мегатонну.

ДЕЙСТВИЕ ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ
М., Воениздат, 1965. 680с.

Редакторы *Соминский Е. М.*, *Телятников Б. М.*

Технический редактор *Зудина М. П.* Корректор *Штынова С. Н.*

Сдано в набор 28.11.64 Подписано к печати 2.4.65 г.
Формат бумаги $60 \times 90^1/_{16}$ — $42^1/_2$ печ. л. = 42,5 усл. печ. л. 43,749 уч.-изд. л.
Тираж 11 000 ТП-65 г. № 188.
Изд. № 10/7075 *Цена 2 руб. 34 коп.* Зак. № 1530

2-я типография Военного издательства Министерства обороны СССР
Ленинград, Д-65, Дворцовая пл., 10

Ядерный взрыв в космосе, на земле и под землей

ЯДЕРНЫЙ ВЗРЫВ В КОСМОСЕ, НА ЗЕМЛЕ И ПОД ЗЕМЛЕЙ

(Электромагнитный импульс ядерного взрыва)

СБОРНИК СТАТЕЙ

ПЕРЕВОД С АНГЛИЙСКОГО ПЕТРЕНКО О. К.
СОСТАВИТЕЛЬ И РЕДАКТОР КАНДИДАТ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК
ДАВЫДОВ С. Л.

Ордена Трудового Красного Знамени
ВОЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ СССР
МОСКВА—1974

Я 34 **Ядерный** взрыв в космосе, на земле и под землей. (Электромагнитный импульс ядерного взрыва). Сб. статей. Пер. с англ. О. Петренко под ред. С. Давыдова. М., Воениздат, 1974.

235 с.

Публикуемые в сборнике статьи посвящены рассмотрению электромагнитных полей, возникающих вблизи центра ядерного взрыва (электромагнитного импульса — ЭМИ).

Авторы статей раскрывают природу ЭМИ и приводят его основные параметры, рассматривают его поражающие факторы и средства защиты от них.

Сборник представляет интерес для широкого круга специалистов, изучающих физические явления, сопровождающие ядерные взрывы в космосе, на земле и под землей. В научном плане сборник интересен для специалистов, работающих в области теории электрических полей.

530.4

Я $\frac{1124\text{-}092}{068(02)\text{-}74}$ 99-74

М. Уман, Д. Сикорд,
Дж. Прайс, Е. Пайерс

МОЛНИЯ, ИНДУЦИРУЕМАЯ ТЕРМОЯДЕРНЫМИ ВЗРЫВАМИ [1]

Наиболее общей причиной возникновения молнийных разрядов является разделение электрических зарядов внутри грозовых облаков. Вместе с тем разделение электрических зарядов и молния могут возникать и без облаков, как, например, при песчаных бурях и в продуктах извержения некоторых действующих вулканов.

31 октября 1952 г. Комиссия по атомной энергии США осуществила наземный взрыв экспериментального термоядерного устройства (взрыв «Майк» операции «Айви») на атолле Эниветок в группе Маршалловых островов. Взрыв с тротиловым эквивалентом 10,4 Мт вызвал по крайней мере пять молнийных вспышек, каждая из которых развивалась вверх от уровня земли (или моря) и наблюдалась до тех пор, пока не была закрыта слоем облаков. Молнийные вспышки возникали и при других наземных взрывах с большими тротиловыми эквивалентами, которые проводились в Тихом океане, хотя, насколько известно, молнийные разряды не были зарегистрированы ни при высотных взрывах в Тихом океане, ни при взрывах в Неваде. В статье описываются молнийные разряды, сопровождавшие взрыв «Майк». Кроме того, обсуждается вероятный механизм создания необходимых для возбуждения молний электрических зарядов и электрических полей, возникающих за счет гамма-излучения, но полностью справедливость рассматриваемого механизма не установлена.

Наблюдения

Взрыв был произведен на рассвете. Устройство помещалось в большом наземном помещении на острове Элугелаб в северной части атолла Эниветок, который расположен в зоне пассатов, и

[1] M. A. Uman, D. F. Seacord, G. H. Price and E. T. Pierce. Lightning induced by Thermonuclear detonations. „Journal of Geophysical Research". Vol. 77, No 9, March 20, 1972, pp. 1591—1596.

метеорологические условия на нем типичны для тропиков. Ветер в приземном слое до высоты 600 м имел направление 110° и скорость 12—15 узлов. Нижняя кромка рассеянных пассатных кучевых облаков (которые покрывали около 50% неба) находилась на высоте 600 м, а верхняя — в пределах 900—1200 м.

Контрольно-регистрирующие пункты, оснащенные антеннами для связи и другими вертикальными конструкциями, находились на различном удалении с одной и другой стороны от взрыва. Пункты размещались вдоль прямой линии, пересекавшей центр

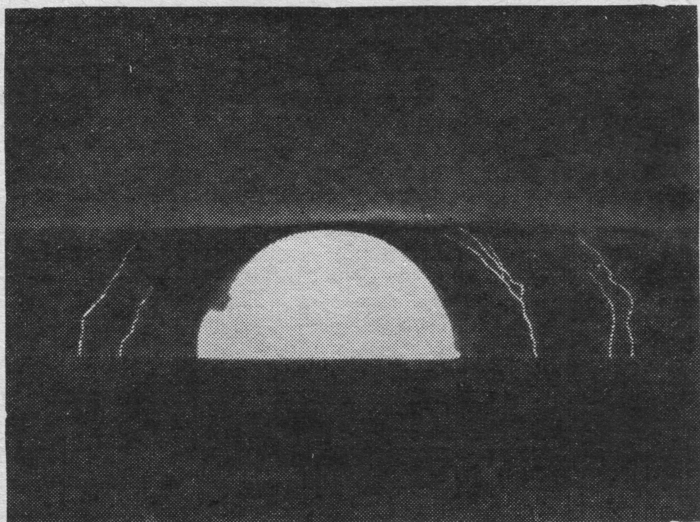


Рис. 1. Молния, вызванная наземным термоядерным взрывом. Пять молнийных каналов для лучшего репродуцирования обведены типографской краской

взрыва. Фотография, которая анализируется в статье, получена на острове Перри на удалении 34,7 км от центра взрыва. Направление с острова Перри на центр было почти перпендикулярно линии, проходящей через пункты регистрации. Съемка производилась с частотой 2000 кадров в секунду при времени экспозиции 100 мкс на кадр. Использовалась 16-мм камера *Eastman Hi-Speed*, нацеленная под углом 1°10′ выше центра взрыва. Был установлен объектив *Ektar* с фокусным расстоянием 101,6 мм, в результате чего изображения на 16-мм кадре при удалении 34,7 км получались в масштабе 341 м/мм. Применялся светофильтр *Wratten* 12 и кинопленка со специально разработанной для фотографирования ядерного взрыва эмульсией.

На рис. 1 представлен увеличенный 72-ой кадр высокоскоростного фильма. На кадре видны пять молнийных вспышек. Все они

изогнуты в сторону огненного шара и располагаются концентрически вокруг светящейся поверхности. Три вспышки с правой стороны фотографии берут начало в точках, находившихся на удалении 900, 1280 и 1380 м от центра взрыва; две вспышки с левой стороны начинаются в точках на удалении 900 и 1100 м от центра. Все пять дистанций соответствуют местам размещения контрольно-регистрирующих пунктов. Некоторые вспышки имеют яркое пятно у основания, указывающее, вероятно, начальную точку их зарождения.

Ближайшая к огненному шару вспышка (R_1) в правой части фотографии достаточно яркая, что позволяет определить ее характеристики. Чертеж, выполненный по шести кадрам фильма (рис. 2),

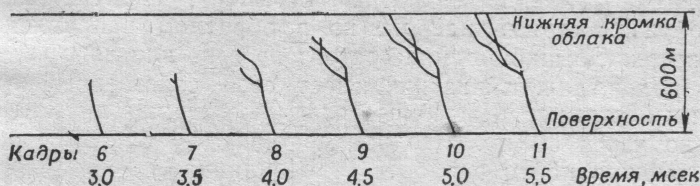


Рис. 2. Развитие в вертикальном направлении молнийного разряда с правой стороны огненного шара (рис. 1). Чертеж выполнен по шести кадрам высокоскоростной съемки развития взрыва

позволяет проследить рост вспышки R_1 в вертикальном направлении. Вспышка R_1 впервые появляется в фильме на 3-ей мс после начала взрыва, когда ее вершина уже достигла высоты 250 м. Спустя половину миллисекунды след вспышки R_1 начинает ветвиться. Обе ветви продолжают расти вверх, создавая дополнительные ветви. На 5-ой мс наивысшая точка ветви R_1 достигает видимой границы облаков. Скорость развития R_1 в вертикальном направлении в промежутке времени 3—5 мс составляет от $1 \cdot 10^5$ до $2 \cdot 10^5$ м/с. Если предположить, что R_1 возникает в нулевой момент (момент начала взрыва), скорость в вертикальном направлении в период времени между нулем и 3 мс составит около $1 \cdot 10^5$ м/с. Вспышка R_1 наблюдалась в течение примерно 75 мс (152-ой кадр). По достижении кромки облаков и максимальной яркости свечение R_1 уменьшается с течением времени.

Характеристики четырех других вспышек, видимо, подобны характеристикам R_1. Скорости развития в вертикальном направлении почти такие же, по крайней мере в той части, где они могут быть измерены, но время существования четырех вспышек несколько короче, а зависимость яркости вспышки от времени в сущности та же самая.

Если рассматривать высокоскоростной фильм, то выявятся интересные явления, происходящие в поздние моменты времени. Когда растущий огненный шар достигает мест нахождения неви-

П. Молмуд,
Д. Арнуш

ИСПЫТАНИЕ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА УСТОЙЧИВОСТЬ К ДЕЙСТВИЮ ЭМИ[1]

Подземные командные пункты и ракетные стартовые комплексы защищены от воздействия избыточного давления ударной волны, создаваемого взрывами ядерного оружия. Они должны быть защищены также и от действия ЭМИ ядерного взрыва. Сильные электрические и магнитные поля, возникающие при ядерных взрывах, могут повредить незащищенные электрические цепи и нарушить работу неэкранированного высокочувствительного оборудования.

Первопричиной ЭМИ является радиально исходящий из точки взрыва поток гамма-квантов, которые, взаимодействуя с электронами атмосферы, образуют радиальный поток комптоновских электронов. Этот радиальный ток растекается в пространстве несимметрично. Симметрия не получается из-за присутствия поверхности Земли, асимметрии конструкции бомбы и из-за наличия магнитного поля Земли. За счет асимметрии ток комптоновских электронов излучает электромагнитную энергию. Движение комптоновских электронов сопровождается разделением электрических зарядов, что приводит к появлению электрического поля. Так как комптоновские электроны ионизируют воздух, он становится электропроводящим и содержащиеся в нем электроны проводимости ослабляют электрическое поле, создавая ток проводимости, противоположный току комптоновских электронов. Совокупность этих токов, представляющая собой источник ЭМИ, охватывает область радиусом около одного километра или несколько больше, так как средняя длина свободного пробега гамма-квантов на уровне моря[2]

---

[1] Paul Molmud, Donald Arnush. Site testing for EMP (electromagnetic pulse) hardness. „JEEE transactions on aerospace and electronic systems". Vol. AES-2, No 4, July 1966, pp. 455—460.

[2] А. С. Компанеец. Радиоизлучение атомного взрыва. «Журнал экспериментальной и теоретической физики», т. 35, вып. 6 (12), 1958. — *Прим. ред.*

М. Джонсон,
Б. Липпман

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ СИГНАЛЫ КОСМИЧЕСКИХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ [1]

Хорошо известно, что ядерный взрыв в атмосфере порождает электромагнитные сигналы, имеющие заметную величину. Такие сигналы являются следствием асимметричного распространения гамма- и рентгеновского излучений в атмосфере. Необходимая для этого асимметрия распространения при взрывах на малых высотах создается присутствием поверхности Земли, при взрывах же на большой высоте определяющую роль играет быстрое изменение плотности атмосферы с высотой. Теперь возникает следующий вопрос: «Можно ли ожидать возникновения электромагнитного сигнала при взрыве в космическом пространстве, где окружающая взрыв среда обладает сферической симметрией и однородна?» Здесь длина свободного пробега рентгеновских лучей практически ничем не ограничивается. Они распространяются на очень большие расстояния от центра взрыва, сообщая электронам среды дополнительное количество движения. При соответствующих условиях возникающий таким образом ток поляризации может излучать электромагнитную энергию. Целью дальнейшего изложения является выяснение условий, при которых возможно излучение, а также определение величины ожидаемого сигнала.

Рассмотрим рентгеновское излучение, создаваемое ядерным взрывом в космическом пространстве [2]. Предположим, что поток рентгеновских лучей испускается в виде прямоугольного импульса, имеющего ширину $\sim 10^{-7}$ с. Будем также считать, что модель среды, окружающей центр взрыва, содержит 10^3 ионизированных атомов водорода в 1 $см^3$.

В связи с тем что среда, окружающая центр взрыва, сферически симметрична [3], возможны два случая: а) если рентгеновские

[1] Montgomery H. Johnson and Bernard A. Lippman. Electromagnetic signals from nuclear explosions in outer space. „The Physical review", Second series, vol. 119, No 3, August 1, 1960, pp. 827—828.

[2] Приводимые ниже рассуждения справедливы также применительно и к гамма-излучению ядерного взрыва, но мы ограничиваемся рассмотрением рентгеновского излучения, так как оно уносит во много раз больше энергии, чем гамма-излучение.— *Прим. авт.*

[3] Учет неоднородностей, вызываемых вспышками на Солнце или другими возмущениями, потребовал бы, очевидно, изменения всего дальнейшего порядка рассмотрения. — *Прим. авт.*

Р. Лэттер,
Р. Гербст,
К. Уотсон

ОБНАРУЖЕНИЕ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ [1]

Ядерный взрыв, произведенный в воздухе, вызывает появление сильного электромагнитного сигнала. Этот сигнал возникает в результате нескольких процессов. Наиболее важным является образование электронов отдачи, происходящее в результате комптон-эффекта, сопровождающего рассеяние гамма-квантов взрыва [2].

Ток, создаваемый комптоновскими электронами на расстоянии R от места взрыва:

$$J \approx -\frac{eL\mu}{\tau} N \frac{e^{-\mu R}}{4\pi R^2} \bar{e}_r \quad \text{при} \quad \frac{R}{c} \leqslant t \leqslant \frac{R}{c} + \tau, \tag{1}$$

$$J \approx 0 \text{ — вне указанных пределов времени,}$$

где N — полное число гамма-квантов, испускаемых при ядерном взрыве; τ — продолжительность импульса гамма-излучения; μ — коэффициент поглощения гамма-квантов в воздухе; L — пробег комптоновских электронов. Каждый комптоновский электрон [3] ионизирует воздух, создавая при этом большое число пар ионов ($p \approx 3 \cdot 10^4$ при энергии гамма-кванта около 2 Мэв). Электроны этих пар прилипают к молекулам O_2 и образуют ионы O_2^-, этот процесс идет со скоростью $\alpha \approx 10^8$ с$^{-1}$. При установившемся равновесии плотность свободных электронов составляет

$$n = \frac{p\mu}{\alpha\tau} N \frac{e^{-\mu R}}{4\pi R^2}. \tag{2}$$

Электронная проводимость ионизированного воздуха

$$\sigma = t_c (ne^2/2m), \tag{3}$$

где t_c — время между столкновениями, равное примерно $3 \cdot 10^{-12}$ с.

---

[1] R. Latter, R. F. Herbst, K. M. Watson. Detection of nuclear explosions. „Annual review of nuclear science“, No 11, 1961, pp. 371—375.

[2] В сборник включена лишь небольшая часть статьи, относящаяся к обнаружению атмосферных ядерных взрывов по электромагнитным сигналам.— *Прим. ред.*

[3] Авторы делают ссылку, в частности, на статью А. С. Компанейца «Радиоизлучение атомного взрыва». ЖЭТФ, т. 35, вып. 6(12), 1958.— *Прим. ред.*

У. Карзас,
Р. Лэттер

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ КОСМИЧЕСКОГО ЯДЕРНОГО ВЗРЫВА[1]

В ходе обсуждения технических вопросов обнаружения ядерных взрывов на Женевской конференции о запрещении ядерных испытаний[2] были высказаны соображения о том, что космический ядерный взрыв может излучать высокочастотный радиосигнал. Был рассмотрен ряд механизмов возникновения такого сигнала, но его величина и спектр в то время находились в сфере догадок. Совсем недавно Джонсон и Липпман[3] количественно оценили один из механизмов, по которому образование сигнала является следствием несимметричного испускания рентгеновского излучения при взрыве, что приводит к несимметричному ускорению окружающих электрических зарядов в разреженной среде вокруг центра взрыва. Наибольшее расстояние, на котором обнаруживается сигнал, по оценкам авторов, составляет около нескольких десятков тысяч километров при энергии импульса рентгеновского излучения, равной энергии взрыва одной мегатонны взрывчатого вещества; спектр частот сигнала не превышает 10 Мгц.

В настоящем обсуждении[4] расчеты строятся на использовании иного механизма. Основу механизма составляет не рентгеновское, а гамма-излучение, поэтому сигнал получается большей величины и содержит более высокие частоты. В статье приводятся расчеты электромагнитного сигнала и обсуждается возможность его обнаружения.

Основные соображения

В процессе развития ядерного взрыва гамма-излучение образуется как непосредственно в результате деления, так и за счет неупругого рассеяния нейтронов в материалах ядерного устрой-

[1] W. J. Karzas and R. Latter. Electromagnetic radiation from a nuclear explosion in space. „The Physical review", vol. 126, No 6, June 15, 1962, pp 1919—1926.

[2] Совещание экспертов по изучению методов обнаружения нарушений возможного соглашения о приостановке ядерных испытаний. См. «К переговорам о прекращении испытаний ядерного оружия» (документы). [Вкладка в № 36 журнала «Новое время» от 5 сентября 1958 г.]. — *Прим. ред.*

[3] См. статью в настоящем сборнике. — *Прим. ред.*

[4] Этот механизм рассматривался О. Лейпунским на Женевской конференции экспертов в 1958 г. (не опубликовано). — *Прим. авт.*

У. Карзас,
Р. Лэттер

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ СИГНАЛ, ВОЗНИКАЮЩИЙ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ С МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ ЗЕМЛИ[1]

Введение

Геофизические наблюдения возмущения электрических токов Земли позволили предположить, что при ядерных взрывах возникают электромагнитные явления, происхождение которых связано с наличием окружающего центр взрыва геомагнитного поля. В первоначальных исследованиях возможных механизмов электромагнитного излучения ядерных взрывов влияние геомагнитного поля не учитывалось[2]. Влияние магнитного поля принималось во внимание только применительно к взрывам, производимым на больших высотах[3]. В настоящей статье рассматриваются электромагнитные явления, сопровождающие ядерные взрывы в атмосфере на таких высотах, на которых необходимо учитывать процессы, происходящие в воздухе, окружающем центр взрыва.

Во второй части статьи описываются эффекты, происходящие при взаимодействии комптоновских электронов отдачи, образованных в воздухе гамма-излучением взрыва, с полем Земли. В третьей части рассматривается гидродинамическое взаимодействие с полем Земли.

Взаимодействие комптоновского тока с магнитным полем Земли

«Мгновенное» гамма-излучение, испускаемое при ядерном взрыве, образует в воздухе, окружающем центр взрыва, комптоновские электроны отдачи. Комптоновские электроны разлетаются

---

[1] W. J. Karzas and R. Latter. The electromagnetic signal due to the interaction of nuclear explosions with Earth's magnetic field. „Journal of Geophysical Research", vol. 67, No 12, Nov. 1962, pp. 4635—4640.

[2] А. С. Компанеец. Радиоизлучение атомного взрыва. ЖЭТФ, т. 35, вып. 6 (12), 1958; Карзас и Лэттер (см. предыдущую статью сборника).— *Прим. ред.*

[3] О. И. Лейпунский. ЖЭТФ, т. 38, 1960, стр. 308.— *Прим. авт.*

У. Карзас,
Р. Лэттер

ОБНАРУЖЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ [1]

Введение

В своей прежней работе [2] авторы рассматривали вопрос обнаружения электромагнитного излучения ядерного взрыва в космосе, вызванного комптоновскими электронами отдачи, создаваемыми при рассеянии гамма-квантов в веществе ядерного устройства или в веществе внешнего экрана (так называемый «сигнал оболочки»). Было высчитано, что на расстоянии R км от места взрыва максимальная напряженность электрического поля «сигнала оболочки» составляет $10^4 R^{-3/2}$ в/м. Наибольшая дальность обнаружения его по расчетам достигает 10^6 км независимо от энергии взрыва.

Авторы рассмотрели также другой механизм генерирования электромагнитного излучения ядерных взрывов, который может оказаться пригодным для целей обнаружения. Этот механизм основан на взаимодействии электрических токов, вызванных ядерным взрывом, с геомагнитным полем. Теория этого механизма разрабатывалась применительно к взрывам в пределах земной атмосферы. Однако было отмечено, что этот же самый механизм геомагнитного взаимодействия применим и к взрывам на больших высотах, где он может привести к образованию достаточно интенсивных с точки зрения обнаружения электромагнитных сигналов на больших расстояниях от точки взрыва. В настоящей статье эта теория механизма геомагнитного взаимодействия применяется для вычисления напряженности поля у поверхности Земли при ядерных взрывах на весьма больших удалениях, представляющих интерес для проблемы обнаружения взрывов. Будет показано, что этот сигнал может быть обнаружен на расстояниях, существенно больших, чем обнаруживается «сигнал оболочки».

---

[1] W. J. Karzas and R. Latter. Detection of the electromagnetic radiation from nuclear explosions in space. „Physical Review", vol. 137, № 5B, March 1965, pp. B1369—B1378.

[2] См. предыдущие статьи в данном сборнике и сноску на стр. 82.— *Прим. ред.*

тельно небольшой областью около точки наблюдения, эту геометрию можно упростить, допустив, что геомагнитное поле однородно (рис. 6). Примем сферическую систему координат. Начало коор-

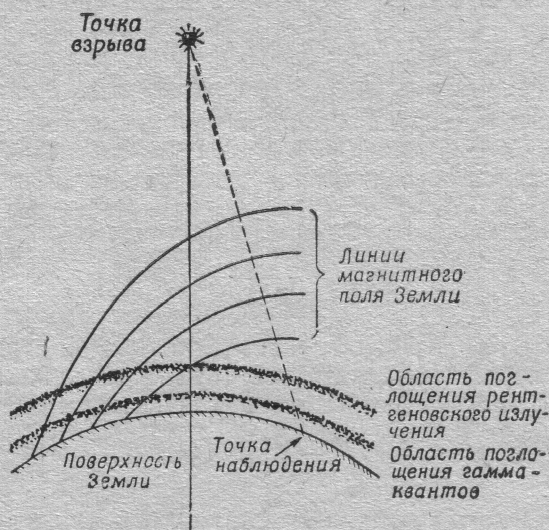


Рис. 5. Геометрия взрыва

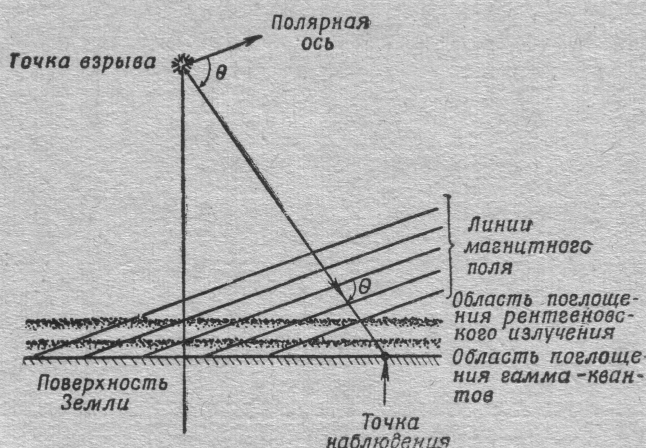


Рис. 6. Упрощенная геометрия взрыва

динат поместим в точке взрыва, а полярную ось совместим с направлением геомагнитного поля, предшествовавшим появлению тока.

и

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial B_r}{\partial \tau}\right)-\frac{2\pi}{r\sin\theta}\frac{\partial(\sin\theta j_\varphi)}{\partial\theta}\approx 0, \tag{39}$$

где из уравнения (28) $\rho\approx(1/c)j_r$. $\tau = t-(r/c)$.

Интегрируя эти уравнения, получим окончательно приближенные выражения[1]:

FROM MAXWELL'S EQUATIONS:—

Solutions of Conrad Longmire (1964)

$$\partial E_r/\partial\tau + 4\pi j_r = 0; \tag{40}$$

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}(rE_\theta)+\frac{2\pi}{c}j_\theta = 0; \tag{41}$$

← KEY!

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}(rE_\varphi)+\frac{2\pi}{c}j_\varphi = 0 \tag{42}$$

с соответствующими результатами для магнитного поля. Первое уравнение (40) известно; оно относится к радиальному электрическому полю. Мы не будем касаться этой неизлучающей составляющей, рассмотрим только распространяющиеся поперечные поля.

Напомним, что плотность тока $\bar{j}$ должна включать вторичные токи в плазме, а также токи первичных электронов, т. е.

$$\bar{j}=\bar{j}_{pri}+\bar{j}_{sec}. \tag{43}$$

Для определения $\bar{j}_{sec}$ воспользуемся моделью Лоренца. Допустим, что электроны плазмы образуются в состоянии покоя и что их движение определяется только местным электрическим полем и их соударениями с воздухом. Таким образом, если $\bar{x}(t)$ есть смещение электрона плазмы от своего первоначального положения, которое, как мы допускаем, невелико по сравнению с рассматриваемыми длинами волн, то

$$\ddot{\bar{x}}+\nu_c\dot{\bar{x}}=-(e/m)\bar{E}. \tag{44}$$

Для электронов, созданных в момент t_0, ток $-e\dot{\bar{x}}$ определяется выражением

$$-e\dot{\bar{x}}(t;t_0)=\frac{e^2}{m}\int_{t_0}^{t}dt' e^{-\nu_c(t-t')}\bar{E}(t'). \tag{45}$$

Если $\dot{n}_{sec}(t_0)$ — скорость, с которой образуются электроны, то плотность тока

$$\bar{j}_{sec}(t)=-\int_{-\infty}^{t}dt_0\cdot\dot{n}_{sec}(t_0)\,e\,\dot{\bar{x}}(t;t_0), \tag{46}$$

[1] Уравнения, аналогичные уравнениям (41) и (42), но в плоскостной аппроксимации, без учета влияния r были получены Лэнгмайром в 1964 г.— *Прим. авт.*

Is this: Footnote about Conrad Longmire 1964 soln

или из уравнения (45)

$$\bar{j}_{sec}(t) = \frac{e^2}{m} \int_{-\infty}^{t} dt' \, e^{-\nu_c (t-t')} \, \overline{E}(t') \, n_{sec}(t'). \tag{47}$$

Очевидно, что если электроны плазмы исчезают с той же скоростью, с какой они создаются, то последнее выражение с учетом $n_{sec}(t)$ будет представлять результирующую плотность электронов.

Таким образом, приходим к следующим результатам для тока плазмы:

$$\bar{j}_{sec}(\bar{r}, t) = \frac{e^2}{m} \int_{-\infty}^{t} dt' e^{-\nu_c(\bar{r})[t-t']} \, \overline{E}(\bar{r}, t') \, n_{sec}(\bar{r}, t'). \tag{48}$$

Если выражение (48) для тока плазмы подставить в уравнение поля, то для E_θ и E_φ получим:

$$\frac{\partial}{\partial r}[rE_\theta(\bar{r}, \tau)] + \frac{2\pi}{c}\frac{e^2}{m} \int_{-\infty}^{\tau} d\tau' r E_\theta(\bar{r}, \tau') \, n_{sec}(\bar{r}, \tau') e^{-\nu_c(\bar{r})(\tau-\tau')} +$$

$$+ \frac{2\pi}{c} r j_\theta(\bar{r}, \tau) = 0; \tag{49}$$

$$\frac{\partial}{\partial r}[rE_\varphi(\bar{r}, \tau)] + \frac{2\pi}{c}\frac{e^2}{m} \int_{-\infty}^{\tau} d\tau' r E_\varphi(\bar{r}, \tau') \, n_{sec}(\bar{r}, \tau') \, e^{-\nu_c(\bar{r})(\tau-\tau')} +$$

$$+ \frac{2\pi}{c} r j_\varphi(\bar{r}, \tau) = 0. \tag{50}$$

Аналогичные результаты получаются для B_θ и B_φ. В общем виде эти уравнения не решаются вследствие экспоненциальной пространственной зависимости $\nu_c(\bar{r})$. Тем не менее, если $\nu_c(\bar{r})$ велика по сравнению с частотами в выражениях для E и n_{sec}, уравнения упрощаются до вида

$$\frac{\partial}{\partial r}(rE) + \frac{2\pi}{c}\sigma r E + \frac{2\pi}{c} r j = 0, \tag{51}$$

где $E \to E_{\theta,\,\varphi}$ и $j \to j_{\theta,\,\varphi}$. Это уравнение легко решается и дает

$$E(\bar{r}, \tau) = -\frac{2\pi}{c}\frac{1}{r}\int_{0}^{r} dr' \, r' j(\bar{r}', \tau) \exp\left(-\frac{2\pi}{c}\int_{r'}^{r} dr'' \sigma(\bar{r}'', \tau)\right), \tag{52}$$

где

$$\sigma(\bar{r}, t) = (e^2/m\nu_c) \, n_{sec}(\bar{r}, t). \tag{53}$$

В противоположном случае для плазмы без соударений $\nu_c(\bar{r})=0$ уравнения упрощаются до вида

$$\frac{\partial}{\partial r}(rE)+\frac{2\pi e^2}{mc}r\int_{-\infty}^{\tau}d\tau' n_{sec}(\bar{r},\tau')E(\bar{r},\tau')+\frac{2\pi}{c}rj(\bar{r},\tau)=0 \quad (54)$$

и решаются следующим образом:

$$E(\bar{r},\tau)=-\frac{2\pi}{c}\frac{1}{r}\int_0^r dr'\int_{-\infty}^{\tau}d\tau' r'\frac{\partial j}{\partial\tau}(\bar{r}',\tau')J_0\times$$

$$\times J_0\left[\left(\frac{8\pi e^2}{mc}\int_{\tau'}^{\tau}d\tau''\int_{r'}^{r}dr'' n_{sec}(\bar{r}'',\tau'')\right)^{1/2}\right] \quad (55)$$

при условии, что $n_{sec}(\bar{r},\tau)$ может быть представлено произведением функции координат на функцию времени[1].

Нетрудно получить аналогичный результат и для магнитного поля. В частности, очевидно, что $B_\varphi=E_\theta$ и $B_\theta=-E_\varphi$.

Следовательно, для того чтобы вычислить поперечное электрическое поле импульса поперечного тока, распространяющегося со скоростью света, складываем все составляющие поля, образующиеся вдоль прямой линии, соединяющей точку взрыва с точкой наблюдения. В проводящей плазме эти составляющие уменьшаются за счет поглощения на пути распространения; в плазме без соударений рассеяние обусловливается самой плазмой.

Обнаружение

Из уравнений (52) и (53) видно, что электромагнитное поле космических ядерных взрывов зависит только от распределения тока и плотности электронов вдоль прямой линии, соединяющей центр взрыва с точкой наблюдения. Однако, так как плотность атмосферы изменяется с высотой по экспоненциальному закону, напряженность электромагнитного поля весьма сильно зависит от того, где в атмосфере возникают электрические токи и образуются области повышенной плотности электронов. Более того, наличие проводимости $\sigma(\bar{r},t)$ в экспоненте уравнения (52) свидетельствует, что на величине сигнала отражается плотность электронов в каждой рассматриваемой точке атмосферы. Все это делает силу наблюдаемого электромагнитного сигнала весьма зависимой от выхода гамма-квантов и рентгеновского излучения при взрыве, от расстояния между центром взрыва и точкой наблюдения, от тем-

[1] Если ν_c независима от координат, то легко показать, что решение уравнений (49) и (50) получается из уравнения (55) путем замены $E(\bar{r},t)$ на $E(\bar{r},t)e^{\nu_c t}$ и заменой $j(\bar{r},t)$ на $j(\bar{r},t)e^{\nu_c t}$. — *Прим. авт.*

пературы взрыва и от угла падения излучений в атмосферу[1]. Более детальное описание электромагнитного поля потребует параметрических исследований, что выходит за рамки настоящей статьи, цель которой — просто показать возможность использования электромагнитного сигнала для обнаружения. Поэтому укажем только приблизительно порядок напряженности электромагнитного поля для типичных условий взрыва, а затем определим примерно предельное расстояние обнаружения.

Сначала рассмотрим взрыв, который не слишком удален от поверхности Земли, температура которого составляет около 1 кэв и при котором радиация приходит в атмосферу почти перпендикулярно поверхности Земли. Эти условия означают, что ионизация, вызываемая в атмосфере рентгеновским и гамма-излучением, столь высока, что в областях, представляющих интерес, ν_c велика[2] и можно применять приближенное уравнение (52); более того,

$$\frac{2\pi}{c}\int_0^r dr'\sigma(r', \tau) \gtrsim 1. \qquad (56)$$

Это условие означает, что по рентгеновскому излучению взрыв с тротиловым эквивалентом 1 кт произведен на высоте нескольких десятков тысяч километров от поверхности Земли, а по гамма-излучению — на высоте нескольких сот километров.

Чтобы вычислить напряженность поля излучения, сначала упростим уравнение (52). Отметим, что величина r' в подынтегральном выражении уравнения (52) может быть заменена r, расстоянием до точки наблюдения, так что интересующие нас токи заключены в тонком слое атмосферы вблизи точки наблюдения. Таким образом,

Compton generator ⟹ air conducting ATTENUATION!

$$E_{\theta,\varphi}(r, \tau) \approx -\frac{2\pi}{c}\int_0^r dr' j_{\theta,\varphi}(r', \tau)\exp\left(-\frac{2\pi}{c}\int_{r'}^r dr''\sigma(r'', \tau)\right). \qquad (57)$$

Теперь отметим, что для r', достаточно близком к r, справедливо

$$\frac{2\pi}{c}\int_{r'}^r dr''\sigma(r'', \tau) \approx 0 \text{ и } j(r', \tau) \approx 0, \qquad (58)$$

поскольку гамма- и рентгеновское излучение быстро поглощается атмосферой ниже некоторой малой высоты. Так как r' уменьшает-

[1] Здесь эффекты, возникающие вследствие влияния ионосферы, не имеют значения, так как токи, которые создают электромагнитный сигнал, возникают ниже ионосферы. — *Прим. авт.*

[2] Для низких давлений, сильных электрических полей и энергии порядка электрон-вольт частота соударений электронов в воздухе почти не зависит от E-поля и имеет величину $\nu_c = 4\cdot10^{12}\ \rho/\rho_0\ \text{с}^{-1}$. — *Прим. авт.*

ГРАЖДАНСКАЯ ОБОРОНА СССР



ЭТО ДОЛЖЕН ЗНАТЬ И УМЕТЬ КАЖДЫЙ

ПАМЯТКА ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ

(Издание пятое, исправленное)

Москва
Военное издательство
1983

ББК 68.69
Э92
УДК 355.585 (041)

Э92 Это должен знать и уметь каждый: Памятка для населения. — 5-е изд., испр. — М.: Воениздат, 1983. — 64 с, ил.— (Гражданская оборона СССР).

05 к.

В Памятке рассматриваются средства и способы защиты населения от оружия массового поражения, даются рекомендации по действиям при угрозе нападения и по сигналам оповещения граждан» ской обороны, а также в очаге поражения и в районах стихийных бедствий.

Брошюра рассчитана на массового читателя и является основным пособием для самостоятельного изучения населением вопросов гражданской обороны.

1304070000-241 ББК 68 69
068(02)-83 355.77

8ТО ДОЛЖЕН ЗНАТЬ И УМЕТЬ КАЖДЫЙ

Редактор В. *И. Королев*
Технический редактор *Н. Я. Богданова*
Корректор Г. *А. Голубева*

ИБ № 2425

Подписано в печать с матриц 29.09.83.
Г-62837. Формат 84Х108/12. Бумага тип. № 2. Гарн. литер.
Печать высокая. Печ. л. 2. Усл. печ. л. 3,36. Усл. кр. отт. 3,57.
Уч.-изд. л. 3,25. Изд. № 14/303
Зак. 413. Цена 5 к.
Тираж 500 000 экз. 2-й завод 250 000 экз).

Воениздат, 103160. Москва, К-160
1-я типография Воениздата
103006, Москва, К-6, проезд Скворцова-Степанова, дом 3

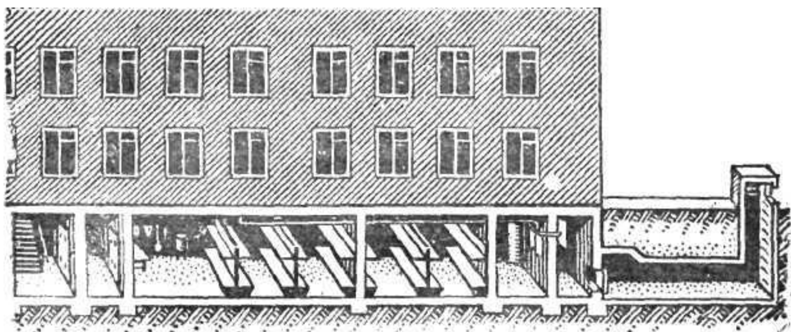


Рис. 3. Встроенное убежище

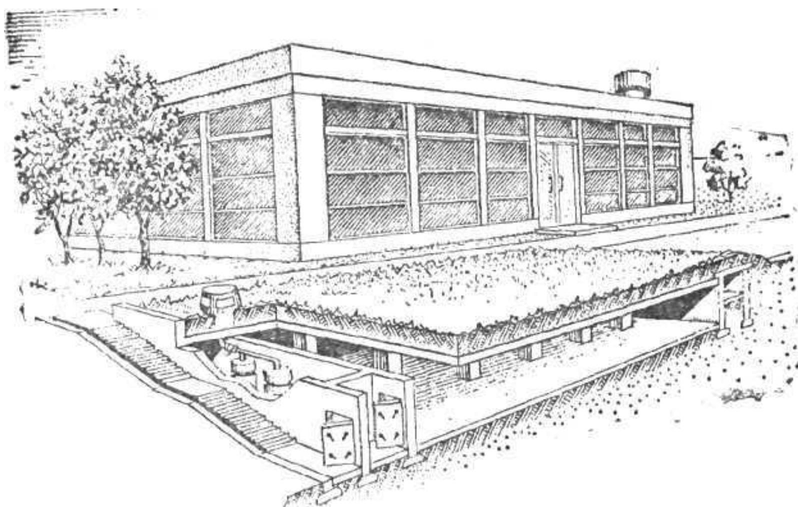


Рис. 4. Отдельно стоящее убежище

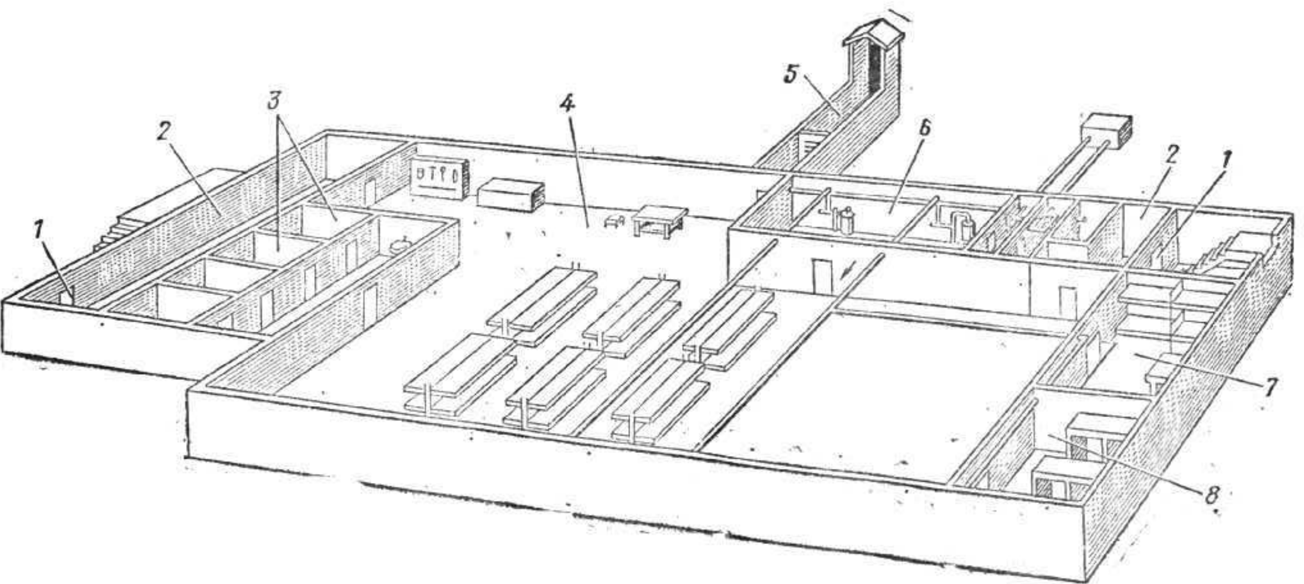


Рис. 5. План встроенного убежища:

1 — защитно-герметические двери; *2* — **шлюзовые камеры**; *3* — **санитарный узел**; *4* — основное помещение для **размещения людей**; *5* — галерея и оголовок аварийного выхода; *6* — **фильтровентиляционная** камера; *7* — медицинская комната; *8* — кладовая для продуктов **(помещения 7 и 8 могут не устраиваться)**

рудуются защитно-герметическими дверями. Встроенное убежище, кроме того, должно иметь аварийный выход.

В убежищах применяются фильтровентиляционные установки с электрическим или ручным приводом. С помощью таких установок наружный воздух очищается от радиоактивных, отравляющих веществ и бактериальных средств и подается в убежища. Фильтровентиляционная установка может работать в двух режимах — в режиме чистой вентиляции (воздух очищается только от пыли в противопыльных фильтрах) и режиме фильтровентиляции (воздух очищается от отравляющих веществ, бактериальных средств и радиоактивной пыли в фильтрах-поглотителях).

В убежище оборудуются системы водоснабжения, канализации, отопления и освещения, устанавливаются радио и телефон. В основном помещении должны быть скамьи для сидения и нары для лежания. Каждое убежище должно быть оснащено комплектом средств для ведения разведки на зараженной местности, инвентарем, включая аварийный, и средствами аварийного освещения.

Необходимо постоянно следить за исправностью оборудования убежищ.

Противорадиационные укрытия

Вы должны уметь оборудовать или построить укрытие.

Противорадиационные укрытия защищают людей от радиоактивного заражения и светового излучения и ослабляют воздействие ударной волны и проникающей радиации ядерного взрыва. Оборудуются они обычно в подвальных или наземных этажах зданий и сооружений.

Следует помнить, что различные здания и сооружения по-разному ослабляют проникающую радиацию: помещения первого этажа деревянных зданий ослабляют ее в 2—3 раза, помещения первого этажа каменных зданий—в 10 раз, помещения верхних этажей (за исключением самого верхнего) многоэтажных зданий — в 50 раз, средняя часть подвала многоэтажного каменного здания — в 500—1000 раз.

Наиболее пригодны для противорадиационных укрытий внутренние помещения каменных зданий с капи-

тальными стенами и небольшой площадью проемов. При угрозе радиоактивного заражения эти проемы заделывают подручными материалами: мешками с грунтом, кирпичами и т. д.

При необходимости сооружаются отдельно стоящие противорадиационные укрытия (рис. 6, 7).

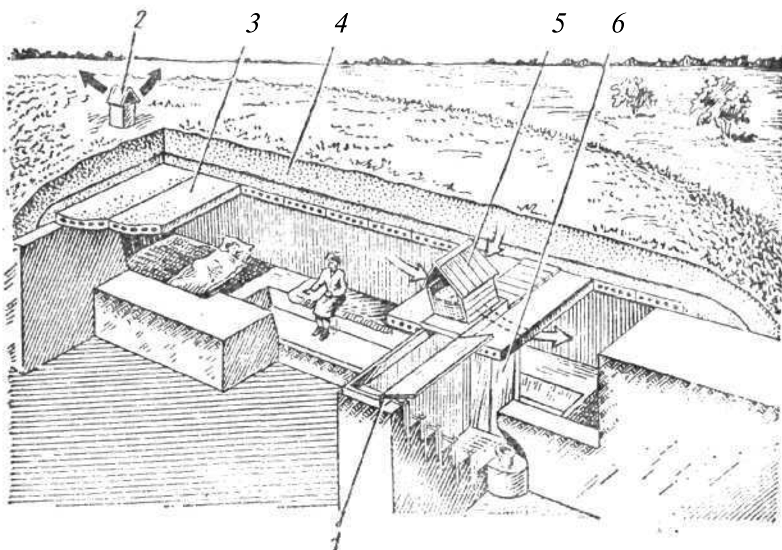


Рис. 6. Противорадиационное укрытие с перекрытием из железобетонных плит:
1— вход; 2 — вытяжная шахта; 3 — перекрытие; 4 — обсыпка грунтом; 5 — приточная шахта; 6 — занавесь при входе;

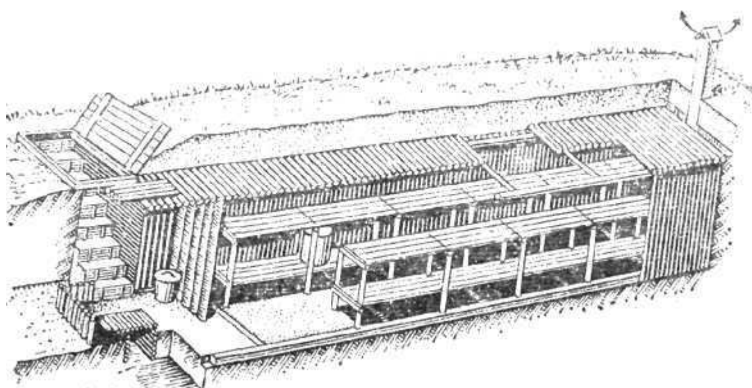


Рис. 7. Противорадиационног укрытие из тонких бревен или жердей

При выборе места для строительства укрытия учитывается рельеф местности, характер грунта и уровень грунтовых вод. При возведении укрытий используются промышленные (сборные железобетонные элементы, кирпич, арматура, трубы, прокат) или местные (дерево, камень, саман, хворост, камыш) строительные материалы. Зимой можно использовать промерзший грунт, лед и снег. Например, уплотненный слой снега толщиной 60 см ослабляет радиацию в 2 раза.

Строительство начинается с трассировки укрытия на местности. Затем снимается дерн и отрывается траншея глубиной 180—200 см, шириной по дну 100 см при однорядном или 160 см при двухрядном расположении мест. Длина укрытия на 10—15 человек должна быть примерно 7—9 м (при однорядном расположении мест). В слабых грунтах устраивается одежда крутостей. Входы должны быть под углом 90° к продольной оси укрытия. На дне отрывается водосборная канавка, настилается пол и ставятся скамьи из расчета 0,5 м на человека и нары для лежания. У входа отрывается водосборный колодец (глубиной до 50 см), а в противоположном от входа торце устанавливается вентиляционный короб или простейший вентилятор. После укладки перекрытия на него насыпается слой грунта толщиной не менее 60 см; грунт покрывается дерном, а вокруг укрытия отрывается канава для стока дождевой воды. Вход оборудуется двумя занавесями из плотного материала; между ними в специальной нише устанавливается емкость для отходов. Запас воды хранится в бачках.

Строительство противорадиационного укрытия в зависимости от его конструкции должно быть закончено в минимальные сроки.

Если в районе имеются подземные выработки или естественные подземные полости, их также можно приспособить под противорадиационные укрытия.

Простейшие укрытия

Вы должны уметь строить простейшие укрытия.

Самым доступным средством защиты от современных средств поражения являются простейшие укрытия. Они ослабляют воздействие ударной волны и радиоактивного излучения, защищают от светового излучения и обломков разрушающихся зданий, предохраняют

от непосредственного попадания на одежду и кожу радиоактивных, отравляющих веществ и бактериальных средств.

Простейшее укрытие — это щель (рис. 8), которую обычно отрывают глубиной 180—200 см, шириной по

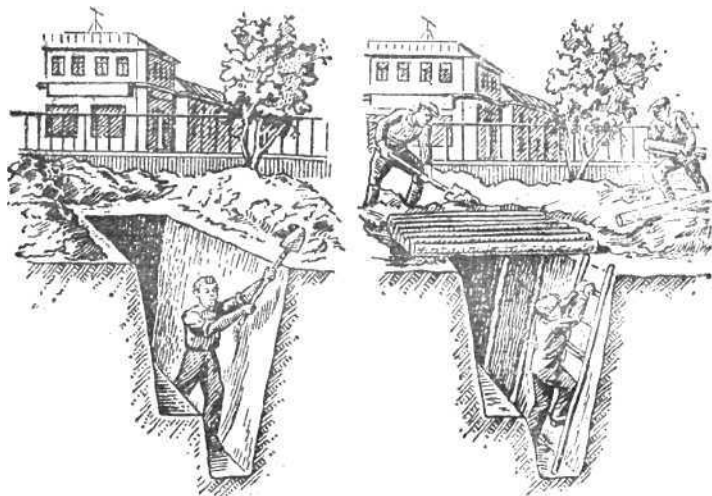


Рис. 8. Устройство простейшего укрытия (щели)

верху 100—120 см и по дну — 80 см, с входом под углом 90° к продольной оси ее. Длина щели определяется из расчета 0,5 м на одного укрываемого. В последующем защитные свойства открытой щели усиливаются путем устройства одежды крутостей, перекрытия с грунтовой обсыпкой и защитной двери. Такое укрытие называется перекрытой щелью (рис. 9).

Трассировка, отрывка и устройство одежды крутостей щели выполняются аналогично тому, как это делается при строительстве противорадиационного укрытия. Вход в щель можно сделать в виде вертикального лаза с люком, перекрытым снаружи щитом.

Если есть время и материалы, защитные свойства перекрытой щели можно постепенно довести до уровня защитных свойств противорадиационного укрытия.

На территориях с плотной застройкой не всегда найдется достаточно места для строительства щелей. Поэтому можно приспосабливать под укрытия подвалы, тоннели и другие заглубленные помещения. При оборудовании подвала прежде всего нужно с помощью сто-

ек и прогонов усилить перекрытие, чтобы оно смогло выдержать нагрузку от обломков здания в случае его разрушения; затем сделать аварийный выход в виде

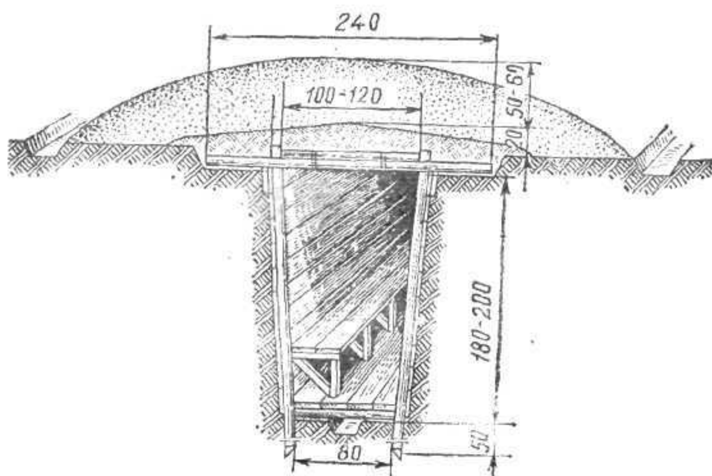


Рис. 9. Перекрытая щель

перекрытой траншеи с выходом на поверхность на расстоянии, равном высоте здания; заделать проемы в наружных и внутренних стенах, оставив только входы и отверстия для вентиляции.

Защитные свойства местности

Вы должны знать и уметь использовать защитные свойства местности.

Защитные свойства местности зависят от ее рельефа, от формы местных предметов и их расположения относительно взрыва.

Лучшую защиту обеспечивают узкие, глубокие и извилистые овраги, карьеры и особенно подземные выработки. Возвышенности с крутыми скатами, насыпи, котлованы, низкие каменные ограды и другие укрытия подобного типа также являются хорошей защитой от воздействия поражающих факторов ядерного взрыва. Некоторыми защитными свойствами обладают мелкие выемки, ложбины, канавы.

Лесные массивы ослабляют действие всех поражающих факторов ядерного взрыва. Они снижают силу

воздействия ударной волны, проникающей радиации, уменьшают радиоактивное заражение, ослабляют воздействие светового излучения. Однако следует помнить, что световое излучение вызывает в лесу пожар. Наименее подвержен возгоранию молодой лиственный лес, его и следует использовать в первую очередь в целях защиты.

Поскольку сильная ударная волна ломает и рушит деревья, лучше всего располагаться в лесу на полянах и вырубках, покрытых кустарником. При отсутствии в лесу полян (вырубок) укрываться следует в глубине леса на удалении не менее 30—50 м от дорог и просек и 150—200 м от опушек леса.

Простейшие способы защиты

Помните о простейших способах защиты.

Если в момент ядерного взрыва вы окажетесь вне убежища или укрытия, необходимо быстро лечь на землю лицом вниз, используя для защиты низкие каменные ограды, канавы, кюветы, ямы, пни, насыпи шоссейных и железных дорог, лесонасаждения (рис. 10). Нельзя укрываться у стен зданий и сооружений — они могут обрушиться.

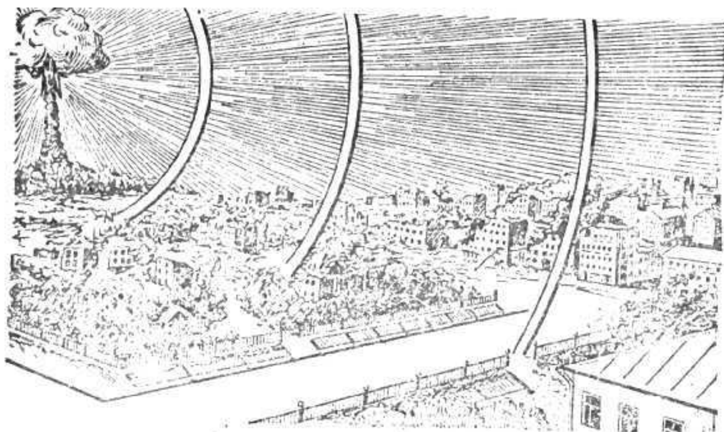
При вспышке следует закрыть глаза — этим можно защитить их от поражения световым излучением. Во избежание ожогов открытые участки тела нужно закрыть какой-либо тканью.

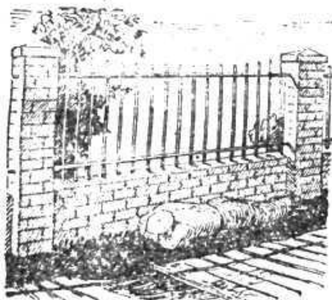
Когда пройдет ударная волна, необходимо встать и надеть средства индивидуальной защиты. Если их нет, следует закрыть рот и нос любой повязкой (платком, шарфом и т. п.) и отряхнуть одежду от пыли.

Средства индивидуальной защиты

Никогда и нигде не забывайте о средствах индивидуальной защиты. Умейте ими пользоваться.

Средства индивидуальной защиты предназначены для защиты от попадания внутрь организма, на кожные покровы и одежду радиоактивных и отравляющих веществ и бактериальных средств. Они делятся на средства защиты органов дыхания и средства защиты кожи. К ним относятся также индивидуальный противохимический пакет и аптечка индивидуальная.











Рис, 10, Использование защитных свойств местности и местных предметов

Средства защиты органов дыхания

К средствам защиты органов дыхания относятся противогазы и респираторы, а также простейшие средства — противопыльная тканевая маска и ватно-марлевая повязка. Простейшие средства защиты могут быть изготовлены самостоятельно.

Противогаз (рис. 11, 12) надежно защищает органы дыхания, глаза и лицо от радиоактивных, отравляющих

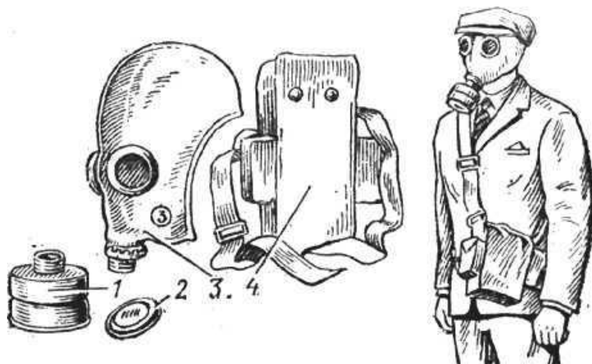


Рис. 11. Противогаз ГП-5:
1 — фильтрующе-поглощающая коробка; 2 — коробка с незапотевающими пленками; 3 — шлем-маска; 4 — сумка для противогаза

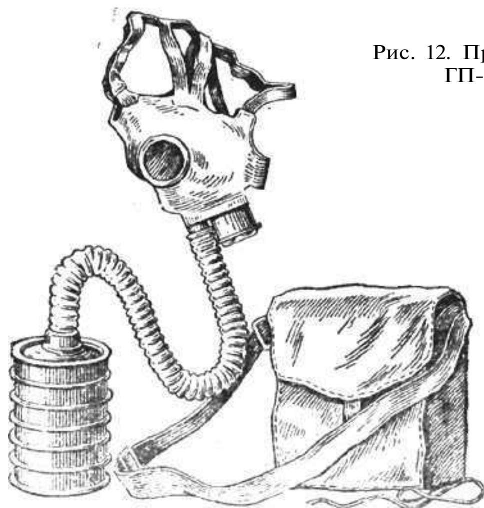


Рис. 12. Противогаз ГП-4у

В доме, около дома, хозяйственных построек и помещений для животных создайте запасы воды и песка, необходимые для тушения пожара. Проверьте наличие простейших средств пожаротушения.

Защита квартиры (дома) от проникновения радиоактивной пыли и аэрозолей

Для повышения герметичности помещения заделайте все трещины в дверях и дверных коробках, зашпаклюйте щели в оконных рамах и проемах, закройте отдушины, дымоходы и другие отверстия. При этом целесообразно использовать липкую полимерную ленту. Щели в местах прилегания двери к дверной коробке можно заделать прокладками из резины, поролона или другого подобного материала (рис. 27).



Рис. 27. Герметизация квартиры

Герметизированное помещение, в котором нет специальных устройств для очистки воздуха, необходимо проветривать. Для этого придется открывать занавешенную тканью дверь или форточку.

Такая подготовка квартиры (дома) необходима потому, что в случае радиоактивного заражения после выхода из убежища или противорадиационного укрытия придется провести в помещении некоторое время — до получения соответствующего распоряжения органов гражданской обороны.

Светомаскировка

Получив распоряжение о светомаскировке, немедленно закройте все световые проемы в жилых, административных, промышленных, торговых и других зданиях светозащитными устройствами: шторами, ставнями или щитами. На лестничных клетках, в вестибюлях и других местах, где трудно обойтись без освещения,

можно использовать специальные лампы или осветительную арматуру. В помещении с обычным освещением наружные двери необходимо оборудовать тамбурами или занавесить шторами.

Качество светомаскировки квартиры, дома, производственного, административного здания и т. д. необходимо проверить, осмотрев окна и двери здания с улицы.

Уходя из квартиры, дома или другого помещения, не забывайте гасить свет.

Защита продовольствия и воды от заражения

Основной способ защиты продовольствия и воды от заражения — их изоляция от внешней среды. Поэтому герметизация квартир, домов, кладовых и хранилищ уже создает определенную степень защиты.

Заверните продукты в пергамент, целлофан и уложите в защитные мешки из прорезиненной ткани или полиэтиленовой пленки, в деревянные или фанерные ящики, выложенные внутри плотной бумагой, в бочки с плотно пригнанными крышками. Можно использовать для этих целей также холодильники, различную домашнюю посуду (рис. 28).

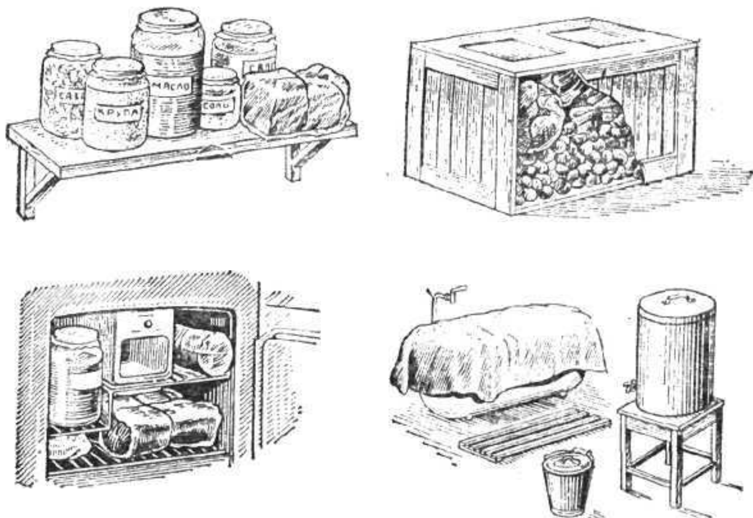


Рис. 28. Защитная упаковка продуктов питания и питьевой воды

Для защиты воды и жидких продуктов используйте посуду с хорошо пригнанными крышками, сосуды с притертыми пробками — термосы, банки, бутылки. Свежие овощи и картофель надежнее хранить в подвале, погребе, подполье.

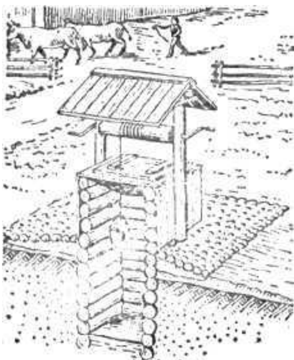


Рис. 29. Защита колодца от попадания радиоактивной пыли

Чтобы защитить открытые колодцы, вокруг верхней части сруба делают глиняный замок толщиной до 50 см и шириной до 1,5—2 м и на него насыпают слой щебня, гравия или гальки толщиной до 10 см. Над колодцем нужно построить будку или навес, а сруб закрыть плотной крышкой (рис.29).

Защита сельскохозяйственных животных

Основным и наиболее надежным способом защиты сельскохозяйственных животных является укрытие их в герметизированных помещениях.

Имеющиеся в помещении щели заделывают глиняным или цементным раствором, двери и окна обивают синтетической пленкой или толем. Где нет рам, оконные проемы нужно заложить кирпичом или мешками с грунтом; часть окон можно закрыть деревянными щитами (рис. 30). В вентиляционные трубы вставляют

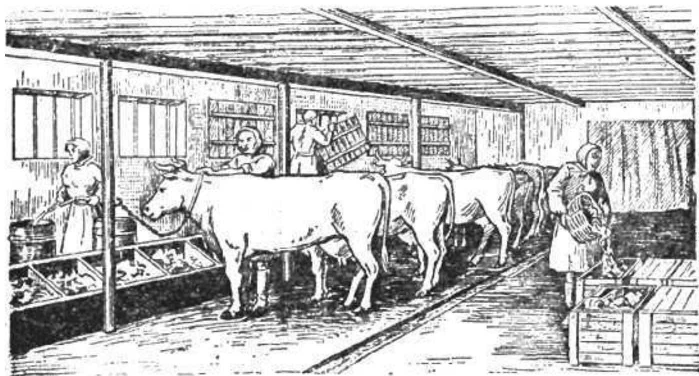


Рис. 30. Подготовка животноводческого помещения

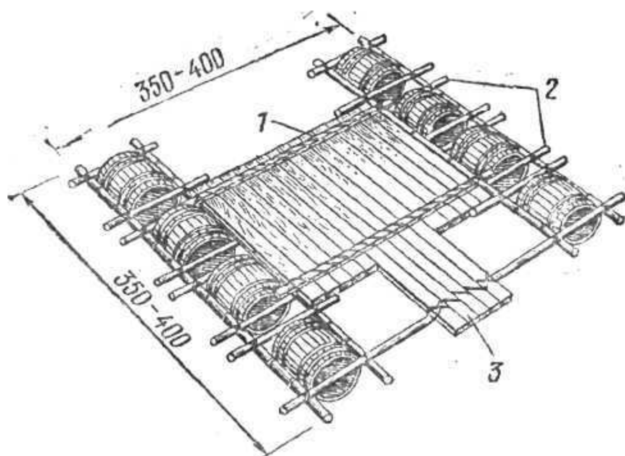


Рис. 46. Плот на деревянных бочках для переправы 6—8 человек:
1 — пажилина; 2 —рама: *3* — сходня

В случае **землетрясения**, если оно застало вас в помещении, немедленно покиньте здание. Если выйти невозможно, встаньте в дверном или оконном проеме. Находясь на улице, постарайтесь как можно быстрее отойти от зданий и сооружений в направлении широких улиц, площадей, спортивных площадок, пустырей и других незастроенных участков.

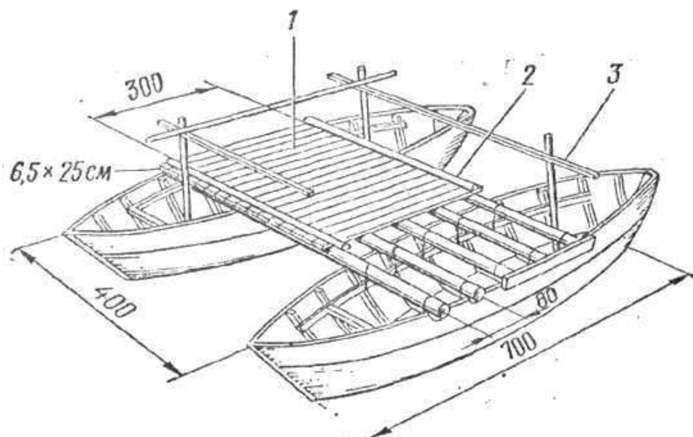
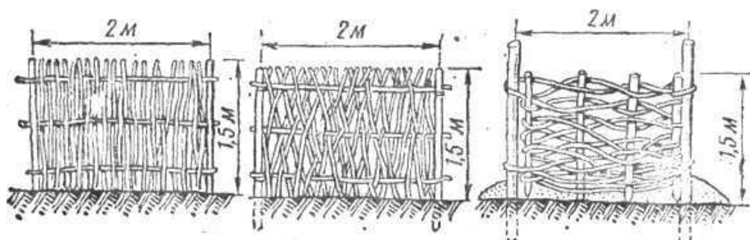


Рис. 47. Паром на двухместных лодках:
1 — настил; *2* — пажилина; *3* — поручень

При угрозе селя на пути его движения к населенным пунктам укрепляются плотины, возводятся насыпи и временные подпорные стенки, устраиваются селевые ловушки, роются отводные каналы и т. д. Долг каждого — по мере возможности участвовать в этих работах.

Для предотвращения снежных заносов устраиваются снегозащитные заграждения. Это могут быть снежные валы и стенки, а также изгороди, изготовленные из местных подручных материалов, хворостяные или дощатые щиты (рис. 48).



Рис, 48. Снегозащитное заграждение (хворостяные щиты)

Устанавливая заграждения, учитывайте господствующее направление ветра. Заграждения ставятся с наветренной стороны дороги; наименьшее удаление их от края проезжей полосы 20 м. По мере заноса заграждений снегом их необходимо наращивать или поднимать и ставить на гребень снежного вала.

При приближении урагана подготовьте имеющиеся убежища, подвалы, подполья, погреба. Если позволит время, постройте простейшие укрытия.

Получив предупреждение об урагане, необходимо прекратить работы вне производственных зданий, закрепить оборудование, которое может пострадать от урагана, и спрятаться в убежищах (укрытиях).

Глава VI

ДЕЙСТВИЯ ПОСЛЕ ВЫХОДА ИЗ ОЧАГА ПОРАЖЕНИЯ

Своевременное и быстрое удаление с зараженных поверхностей радиоактивных веществ, обеззараживание отравляющих веществ и бактериальных средств значительно снижают поражающее воздействие на человека.

На одежде, обуви, средствах индивидуальной защиты и открытых участках тела могут оказаться радиоактивные, отравляющие вещества и бактериальные средства. Их необходимо удалить или обезвредить. Делать это можно только в специально отведенном месте и в определенном порядке.

Выйдя из зоны радиоактивного заражения, снимите накидку (плащ, пальто) и, встав спиной к ветру, вытряхните ее и повесьте на веревку или перекладину. Затем обметите радиоактивную пыль сверху вниз веником, щеткой, жгутом из сена или соломы или выбейте палкой (рис. 49). Обувь очистите от грязи и протрите

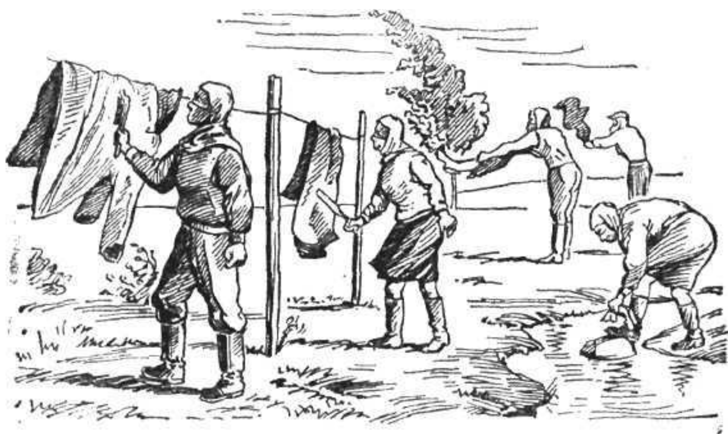


Рис. 49. Частичная дезактивация одежды и обуви

куском ткани или щеткой. Одежду и белье для обеззараживания можно прополоскать в проточной воде.

Закончив обеззараживание одежды и обуви, снимите противогаз и тщательно протрите его. Если вы пользова-

лись противопылыюй тканевой маской, хорошо вытряхните ее или постирайте. Ватно-марлевую повязку уничтожьте, так как удалить с нее радиоактивную пыль очень трудно. В последнюю очередь снимите перчатки.

После этого можно приступить к частичной санитарной обработке. Тщательно вымойте руки водой с мылом. Хорошо обработайте ногти, под которые могут попасть радиоактивные вещества. Затем обмойте лицо, при этом смываемая вода не должна попадать в глаза, рот и нос. Обмойте также те участки тела, которые оставались открытыми. Прополощите чистой водой рот и горло, промойте глаза.

Если воды нет, можно использовать жидкость из противохимического пакета: влажным полотенцем, носовым платком, тампонами из марли или ваты оботрите руки, лицо (но не глаза) и другие открытые участки тела.

Учтите, что частичная санитарная обработка не обеспечивает надежного обеззараживания. Поэтому при первой возможности необходимо пройти полную санитарную обработку. Она заключается в мытье всего тела теплой водой с мылом и проводится дома или на пунктах специальной обработки. Можно ограничиться купанием в реке или озере, если они находятся на незараженной территории.

Чтобы проверить полноту обеззараживания при санитарной обработке, следует пройти дозиметрический контроль.

Если вы вышли из зоны химического заражения, тщательно осмотрите себя и окружающих: нет ли капель отравляющих веществ на открытых участках кожи или на одежде. При обнаружении капель ОВ снимите их тампоном из противохимического пакета или ветошью, куском ткани, бумагой. Места, с которых удалены капли отравляющих веществ, быстро обработайте жидкостью из противохимического пакета. Затем нужно пройти полную санитарную обработку на одном из специальных пунктов гражданской обороны.

Запомните! Снимать противогаз и средства защиты кожи после выхода из зоны химического заражения можно лишь тогда, когда вы убедитесь, что в воздухе и на вашей одежде отравляющих веществ нет. В этом вам помогут формирования гражданской обороны.

Не забывайте, что зараженные радиоактивными и отравляющими веществами, а также бактериальными средствами территория, здания, оборудование, техника,

предметы домашнего обихода и т. д. являются источниками заражения.

Для очистки территории, зараженной радиоактивными веществами, мягкий грунт, где это необходимо, нужно либо срезать на 7—8 см, либо перепахать, либо засыпать слоем незараженной земли; дороги и площадки с твердым покрытием следует промести или промыть водой.

Удалить радиоактивные вещества из производственных помещений, с техники, оборудования (особенно с их гладких поверхностей) можно путем сметания их или смывания струей воды или растворами моющих порошков («Дои», «Эра», «Лотос» и др.). Применимы также растворители (бензин, керосин и др.).

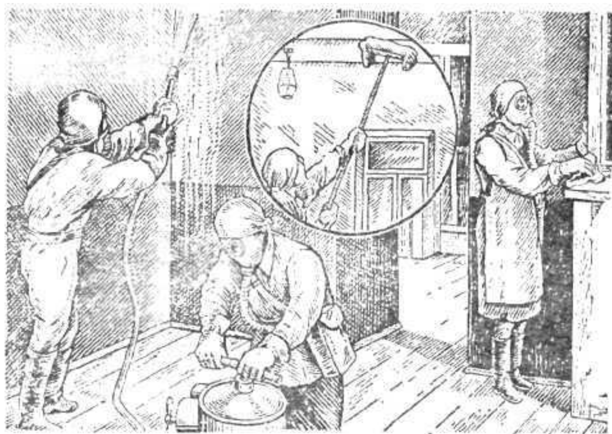


Рис. 50. Дезактивация жилого помещения

В квартире (доме) произведите влажную уборку (рис. 50): протрите влажной тряпкой или обмойте потолки и стены, шкафы, столы, стулья; мягкую мебель, прежде чем протереть влажной тряпкой, обработайте пылесосом. После этого вымойте полы, используя моющие средства.

В очаге химического поражения для обеззараживания можно использовать хлорную известь (в виде кашицы или осветленного раствора) или двутретиосновную соль гипохлорита кальция (в виде раствора). Для уничтожения зарина применяется также аммиачная вода.

В очаге бактериологического поражения используйте дезинфицирующие вещества: фенол, лизол, крезол, хлорную известь и т. д.

Предметы домашнего обихода (одежду, обувь, одеяла, подушки, ковры, скатерти и т. п.), оказавшиеся в зоне химического или бактериологического заражения, и средства защиты сдайте на специальные станции обеззараживания. Дегазацию и дезинфекцию хлопчатобумажной одежды и белья, а также посуды можно провести самому, для этого нужно прокипятить их в 2%-ном содовом растворе в течение 2 ч.

Соблюдайте меры предосторожности при проведении работ по обеззараживанию! Все работы проводите обязательно в средствах индивидуальной защиты, не снимайте их преждевременно. Осторожно обращайтесь с различными обеззараживающими растворами. Обтирочные материалы, использованные при обеззараживании, складывайте в специально отведенных местах. Использованную воду и растворы сливайте в канализацию или ямы-отстойники. Место слива обозначьте указателем с соответствующей надписью. Во время работы запрещается пить, принимать пищу, курить.

После окончания работы на зараженной местности *обязательно* пройдите полную санитарную обработку.

Эту Памятку необходимо знать всем — и взрослым, и детям.

Долг каждого гражданина Советского Союза — активно участвовать во всех мероприятиях гражданской обороны.

Помните, что организованность, строгое соблюдение правил поведения и решительные действия в очаге поражения — залог спасения жизни людей!

ОГЛАВЛЕНИЕ

Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий

ГРАЖДАНСКАЯ ОБОРОНА

Учебник

2014 г.

Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий

ГРАЖДАНСКАЯ ОБОРОНА

Под общей редакцией В.А. Пучкова

Рецензенты:

Гражданская оборона / Под общ. ред. В.А. Пучкова; МЧС России. — М.: _____________, 2014. — ____ с.

В учебнике изложены основы организации и ведения гражданской обороны Российской Федерации в современных условиях.

В книге приводятся анализ исторического опыта развития гражданской обороны в России; основные характеристики современных средств поражения; основы организации и ведения гражданской обороны.

Книга предназначена для работников органов управления ГОЧС, специалистов гражданской обороны, а также может быть использована в учебных заведениях при изучении вопросов гражданской обороны.

Содержание

рекрытые траншеи уменьшают радиус поражающего действия в 2 раза, а блиндажи – в 3 раза. При нахождении в подземных прочных сооружениях на глубине более 10 м люди не поражаются даже если это сооружение находится в эпицентре воздушного ядерного взрыва (рис. 1.8).

Защитными свойствами от действия ударной волны обладают также танки, БТР и БМП.

При невозможности использовать защитные свойства различных сооружений следует применять элементарные меры защиты. Так как для незащищенного человека наибольшую опасность представляет скоростной напор, то целесообразно до подхода ударной волны лечь на землю лицом вниз, головой или ногами в сторону взрыва. При этом площадь поперечного сечения уменьшается примерно в 10 раз, а воздействие скоростного напора будет минимальным.

Воздействие скоростного напора снижают различные углубления (кюветы, ямы, воронки и др.) или невысокие прочные стенки, пни и другие предметы, за которыми можно укрыться.

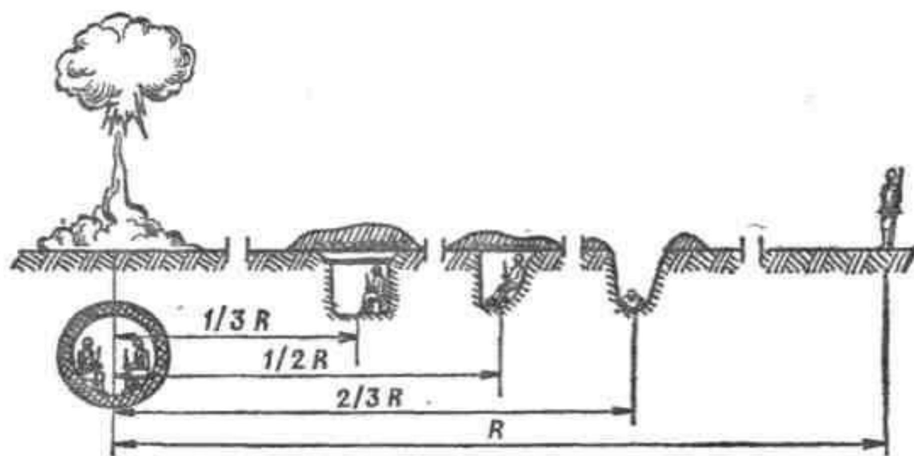


Рис. 1.8. Защитные свойства полевых фортификационных сооружений от воздушной ударной волны ядерного взрыва

Световое излучение ЯВ представляет собой поток лучистой энергии в ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной областях спектра электромагнитных волн.

Оно возникает сразу после взрыва совместно с образованием светящейся области гомотермического шара и распространяется со скоростью $3 \cdot 10^5$ км/с. Вследствие этого, время необходимое для прохождения лучистого потока от точки взрыва до объектов, находящихся даже на расстоянии десятков километров от места взрыва, практически равно нулю.

Световое излучение для ядерных взрывов мощностью более 10 кт, по сравнению с ударной волной и проникающей радиацией, имеет больший радиус поражения открыто расположенного личного состава и различных легко возгораемых объектов.

Источником светового излучения является светящаяся область ЯВ.

Форма светящейся области зависит от вида взрыва, при высоком воздушном взрыве она близка к сферической. Светящаяся область низкого воздушного взрыва, деформируясь ударной волной, отраженной от поверхности земли, принимает вид сферического сегмента. При наземном взрыве светящаяся область соприкасается с поверхностью земли и имеет форму полусферы, радиус которой в 1,2…1,3 раза больше радиуса огненного шара воздушного взрыва той же мощности.

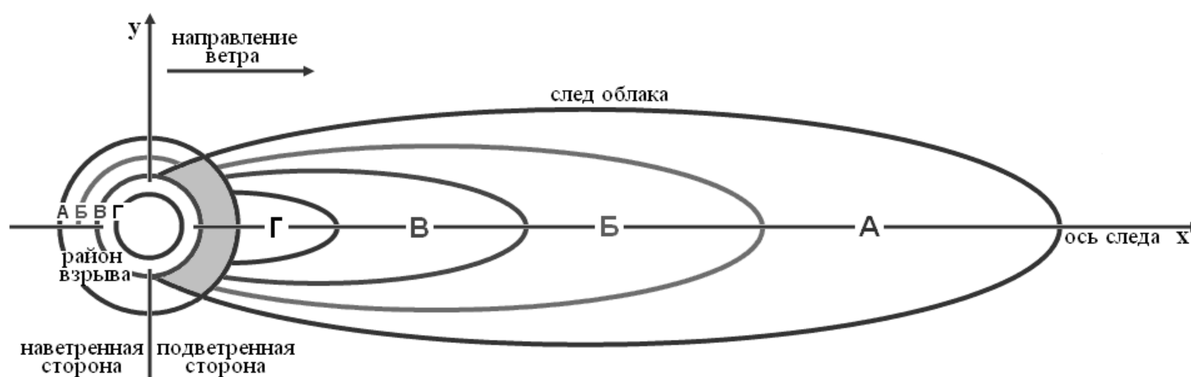


Рис. 1.9. Схема зон радиоактивного загрязнения местности

Таблица 1.5

Характеристика зон радиоактивного загрязнения

Зона	Характеристика зоны	Доза облучения до полного распада (D_∞) на границе зоны, рад	Мощность дозы излучения, рад/ч, на различное время после взрыва	
			на 1 ч.	на 10 ч.
А	Умеренного загрязнения	40	8	0,5
Б	Сильного загрязнения	400	80	5
В	Опасного загрязнения	1200	240	15
Г	Чрезвычайно опасного загрязнения	4000	800	50

Зона А – умеренного загрязнения. Дозы излучения до полного распада радиоактивных веществ на внешней границе зоны $Д_\infty$ = 40 рад, на внутренней границе $Д_\infty$ = 400 рад. Ее площадь составляет 70…80 % площади всего следа, на карты наносится синим цветом.

Зона Б – сильного загрязнения. Дозы излучения на границах $Д_\infty$ = 400 рад и $Д_\infty$ = 1200 рад. На долю этой зоны приходится примерно 10 % площади радиоактивного следа (наносится зеленым цветом).

Зона В – опасного загрязнения. Дозы излучения на ее внешней границе за период полного распада радиоактивных веществ $Д_\infty$ = 1200 рад, а на внутренней границе $Д_\infty$ = 4000 рад. Эта зона занимает примерно 8…10 % площади следа облака взрыва (наносится коричневым цветом).

Зона Г – чрезвычайно опасного загрязнения. Дозы излучения на ее внешней границе за период полного распада радиоактивных веществ $Д_\infty$ = 4000 рад, а в середине зоны $Д_\infty$ = 7000 рад (наносится черным цветом).

Мощности доз излучения на внешних границах этих зон через 1 ч после взрыва составляют соответственно 8, 80, 240 и 800 рад/ч, а через 10 ч – 0,5; 5; 15 и 50 рад/ч. Со временем мощности доз излучения на местности снижаются ориентировочно в 10 раз через отрезки времени, кратные 7. Например, через 7 ч после взрыва мощность дозы уменьшается в 10 раз, а через 49 ч – в 100 раз.

При нахождении людей на радиоактивно загрязненной местности ионизирующие излучения продуктов взрыва воздействуют на организм человека и вызывают его поражение. Это воздействие может проявляться как в результате *внешнего облучения*

(радиоактивные вещества находятся вне организма), так и при попадании радиоактивных веществ внутрь организма через органы дыхания, пищеварительный тракт, кожу и открытые раны (*внутреннее облучение*). В результате такого воздействия, как и при проникающей радиации, может развиться лучевая болезнь. Вместе с тем, степень поражения биологической ткани определяется главным образом внешним облучением.

Электромагнитный импульс. Ядерные взрывы в атмосфере и в более высоких слоях приводят к возникновению мощных электромагнитных полей с длинами волн 1…1000 м и более. Эти поля ввиду их кратковременного существования принято называть электромагнитным импульсом (ЭМИ). В результате возникновения напряжений и токов в проводниках различной протяженности ЭМИ может оказывать поражающее действие на радиоэлектронную аппаратуру и электротехническое оборудование; аппаратуру, кабельные и проводные линии систем связи, управления, энергоснабжения и т. п.

При наземном и низком воздушном взрывах воздействие ЭМИ наблюдается на расстоянии порядка нескольких километров от центра взрыва.

При высотном ядерном взрыве (H>10 км) могут возникать поля ЭМИ в зоне взрыва и на высотах 20…40 км от поверхности земли (рис. 1.10). ЭМИ в зоне взрыва возникает за счет быстрых электронов, которые образуются в результате взаимодействия гамма-квантов ядерного взрыва с материалом оболочки боеприпаса и рентгеновского излучения с атомами окружающего разреженного воздушного пространства.

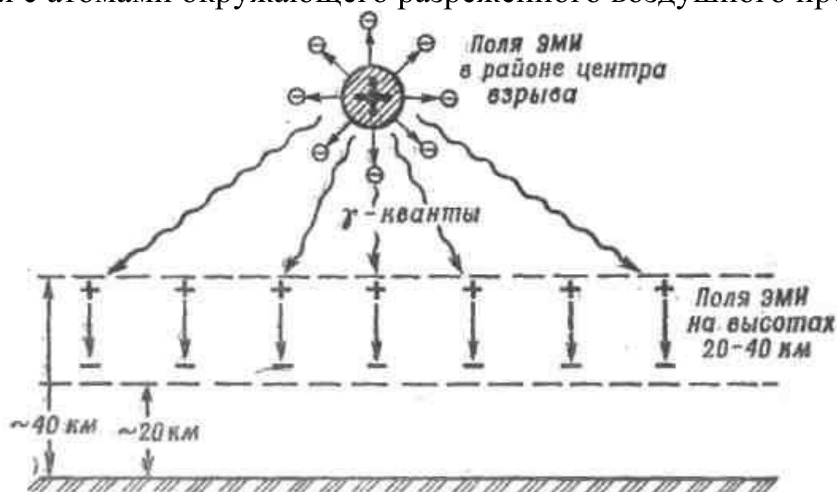


Рис. 1.10. Схема возникновения полей электромагнитного импульса при высотном ядерном взрыве

Основными параметрами электромагнитного импульса, характеризующими его поражающее действие, являются изменения напряженностей электрического и магнитного полей во времени (форма импульса) и их ориентация в пространстве, а также величина максимальной напряженности поля (амплитуда импульса).

Для низких воздушных взрывов параметры ЭМИ остаются примерно такими же, как и для наземных, но с увеличением высоты взрыва их амплитуды уменьшаются. Амплитуды ЭМИ подземного и надводного ядерных взрывов значительно меньше амплитуд ЭМИ взрывов в атмосфере, поэтому поражающее действие его при этих взрывах практически не проявляется.

Поражающее действие ЭМИ проявляется прежде всего по отношению к радиоэлектронной и электротехнической аппаратуре, в ней наводятся электрические токи и напряжения, которые могут вызвать пробой изоляции, повреждение трансформаторов и полупроводниковых приборов, сгорание разрядников, перегорание плавких вставок и

других элементов радиотехнических устройств. Наиболее подвержены воздействию ЭМИ линии связи, сигнализации и управления. Когда ЭМИ недостаточен для повреждения приборов или отдельных деталей, то возможно нарушение их работоспособности.

Если ядерные взрывы произойдут вблизи линий энергоснабжения, связи, имеющих большую протяженность, то наведенные в них напряжения могут распространяться по проводам на многие километры и вызывать повреждение аппаратуры и поражение личного состава, находящегося на безопасном удалении по отношению к другим поражающим факторам ядерного взрыва.

Высотный взрыв способен создавать помехи в работе средств связи на очень больших площадях.

Электромагнитный импульс может свидетельствовать о таких параметрах ядерного взрыва, как мощность, вид взрыва и координаты.

Защита от ЭМИ достигается экранированием линий энергоснабжения и управления, а также аппаратуры. Все наружные линии, например, должны быть двухпроводными, хорошо изолированными от земли, с малоинерционными разрядниками и плавкими вставками. Для защиты чувствительного электронного оборудования целесообразно использовать разрядники с небольшим порогом зажигания.

1.2.Химическое оружие[7]

1.2.1. Общие сведения о химическом оружии и отравляющих веществах

Химическое оружие (ХО) является одним из видов оружия массового поражения и до сих пор состоит на вооружении современных армий. Оно появилось до создания ядерного оружия и не потеряло своего оперативного значения после разработки и принятия на вооружения ядерных боеприпасов.

Химическим оружием называют боевые средства, поражающее действие которых основано на токсических свойствах отравляющих веществ, переведенных в боевое состояние.

Химическое оружие обладает рядом особенностей, которые можно подразделить на общие и частные (табл. 1.6).

Таблица 1.6

Особенности химического оружия

Общие	Частные
Большие масштабы возможного применения и поражающего действия.	Трудность своевременного обнаружения факта применения.
Возможность нанесения смертельных и трудноизлечимых тяжелых поражений.	Избирательность поражающего действия.
Высокий морально - психологический эффект применения.	Объемность поражающего действия.
Генетические и экологические последствия.	Продолжительность поражающего действия.
Сложность своевременной защиты сил РСЧС и особенно населения.	Биохимический характер поражающего действия.
Трудность ликвидации последствий применения.	Возможность управления характером и степенью поражения.

Общие особенности характеризуют *ХО* как оружие массового поражения.

[7] Решетников В.М. Каф. 23 «Радиационной, химической, экологической защиты»

Большие масштабы возможного применения и поражающего действия обусловлены высокой токсичностью современных ОВ, т. е. их способностью поражать живой организм. Возможность нанесения смертельных и трудно излечимых тяжелых поражений также связана с высокой токсичностью современных ОВ и реализуется при отсутствии или несвоевременном использовании средств защиты, при их неисправности и при применении ОВ, способных преодолеть средства защиты.

Высокий морально-психологический эффект применения ХО проявляется в следующем:

сложности определения самого факта применения ХО;

практически мгновенном проявлении признаков поражения у людей, оказавшихся в неисправных средствах защиты;

неожиданности гибели или тяжелого поражения этих людей;

неуверенности остальных в надежности своих средств защиты;

необходимости длительного пребывания в средствах защиты, снижающих боеи работоспособность.

Генетическое и экологическое последействия имеют место при применении ОВ:

воздействующих на растения и животных, а также на микроорганизмы плодородного слоя почвы;

изменяющих функционирование генного аппарата; оказывающих мутагенное действие на организм человека, причем с учетом особенностей разных этнических групп. Примером такого последействия являются применяемые армией США в Южном Вьетнаме фитотоксиканты, т. е. ОВ, предназначенные для поражения растений (табл. 1.7).

Таблица 1.7

Последствия применения фитотоксикантов в химической войне США в Южном Вьетнаме

Показатели	Последствия
Всего применено ОВ	около 100 тыс. тонн
Поражено людей	более 1,2 млн. чел.
Количество бесплодных браков	увеличение в 8 раз
Рождение неполноценных детей	увеличение в 15 раз
Уничтожено лесов	43 %
Повреждено сельскохозяйственных земель	44 %
Период восстановления лесов и земель	более 100 лет

Сложность своевременной защиты определяется:

во-первых, минимизацией промежутка времени между обнаружением факта применения ХО и оповещением населения;

во-вторых, невозможностью быстрого укрытия всего населения в убежищах;

в-третьих, продолжительностью выдачи населению средств защиты.

Трудность ликвидации последствий применения определяется большими масштабами применения ХО, значительным количеством пораженных людей (в т. ч. санитарных потерь), требующих медицинской помощи, быстрым впитыванием ОВ в почву и различные материалы, продолжительностью сохранения опасности поражения, необходимостью дегазации техники, других объектов и санитарной обработки людей.

Частные особенности ХО определяют его специфику.

Трудность своевременного обнаружения факта применения связана с возможностью совместного применения образцов ХО с однотипными образцами обычного оружия в интересах маскировки или использования образцов ХО, действия которых не сопровождается заметными звуковыми и световыми эффектами.

Избирательность поражающего действия заключается в том, что объектами поражения при применении ХО являются только живые организмы. В отличие от ядерного оружия, ХО практически не разрушает здания (сооружения) и не повреждает технику. Только в случае ХО взрывного действия может иметь место частичное разрушение недостаточно прочных конструкций, причем в результате прямого попадания или взрыва в непосредственной близости от них.

Объемность поражающего действия проявляется в том, что воздух, зараженный ОВ, благодаря прониканию в любые негерметичные объекты (танки и боевые машины, дома, сооружения, транспортная техника), не имеющие специального защитного оборудования, оказывает поражающее воздействие на находящихся в них людей.

Продолжительность поражающего действия обусловлена способностью ОВ после применения сохранять, в течение определенного времени (для ряда ОВ – длительного), свои поражающие свойства.

Биохимический характер поражающего действия заключается в способности ОВ ингибировать (т. е. угнетать, тормозить) действие ферментов – белковых катализаторов химических реакций, и тем самым, нарушать метаболизм (обмен веществ), обеспечивающий жизнедеятельность живых организмов.

Возможность управления характером и степенью поражения объясняется наличием на вооружении современных армий целой гаммы ОВ, многообразных в изменчивости своих поражающих свойств (смертельные и не смертельные, местного и общего поражающего действия, кратковременно - и длительно действующие и т. д.). Поэтому, выбирая – в соответствии с задачей применения ХО – нужное ОВ и назначая ту или иную норму расхода, можно обеспечивать желательный результат поражения.

Выделяют три вида боевых состояний ОВ: пар (газ), аэрозоль и аэровзвесь (табл. 1.8).

Аэрозольное боевое состояние подразделяется на два вида: не оседающий аэрозоль (высоко- и тонкодисперсный аэрозоль), способный находиться в атмосфере достаточно продолжительное время, и грубодисперсный аэрозоль, частицы которого постепенно оседают на различные поверхности. Поэтому пар (газ) и не оседающий аэрозоль образуют не оседающую примесь ОВ к воздуху, а грубодисперсный аэрозоль и аэровзвесь – оседающую примесь.

Таблица 1.8.

Виды боевых состояний ОВ

Боевое состояние БТХВ		Интервал размеров частиц, мкм	Поведение в воздухе
Пар (газ)		менее 0,001	Неоседающая примесь
Аэрозоль	Неоседающий	0,001…30	
	Грубодисперсный	30…500	Оседающая примесь
Аэровзвесь (капли)		более 500	

В зависимости от вида боевого состояния ОВ и его поведения в атмосфере различают следующие поражающие факторы ХО:

1. Первичное (смешанное) облако ОВ представляет собой зараженный объем воздуха, который может в принципе включать в себя все три вида боевых состояний: пар, аэрозоль и аэровзвесь ОВ. Однако в большинстве случаев первичное облако ОВ будет содержать только два или даже один вид боевого состояния.

Первичное облако перемещается по направлению ветра и постепенно рассеивается, оказывая поражающее воздействие в течение определенного времени. Время воздействия зараженных осколков практически такое же, как в случае обычных осколочных боеприпасов.

Поверхности, зараженные ОВ, становятся вторичным поражающим фактором в связи с возникновением опасности поражения незащищенных людей при контактах с ними.

2. Вторичное облако образуется в результате испарения ОВ, находящегося на зараженных поверхностях, и представляет собой объем воздуха, зараженный образующимся при этом паром и распространяющийся по направлению ветра. При достаточно сильном ветре, передвижении войск и техники – вторичное облако пара ОВ может дополняться пылевым облаком, создаваемым пылью, поднимаемой с зараженной местности.

Поражающее действие вторичных поражающих факторов на людей продолжается длительное время: от нескольких часов до нескольких суток, недель и даже месяцев в зависимости от типа ОВ и метеорологических условий.

3. Осколки, зараженные ОВ, в тех случаях, когда они образуются, заносят ОВ в организм через раневые поверхности, что приводит к так называемым «микстовым», т. е. смешанным поражениям.

Классификация отравляющих веществ

Для решения вопросов, связанных с мероприятиями химической защиты при применении ХО, целесообразно исходить из комбинированной классификации ОВ, включающей токсикологическую (физиологическую) и тактическую классификации (табл. 1.9).

Тактическая классификация подразделяет ОВ на группы по боевому назначению, при этом все ОВ делят на две группы:

смертельного действия – вещества, предназначенные для уничтожения живой силы, к которым относятся ОВ нервнопаралитического, кожно-нарывного, общеядовитого и удушающего действия;

временно выводящие живую силу из строя – вещества, позволяющие решать тактические задачи по выведению живой силы из строя на сроки от нескольких минут до нескольких суток. К ним относятся психотропные вещества (инкапаситанты) и раздражающие вещества (ирританты).

Согласно токсикологической классификации, которую часто, хотя и не совсем точно, называют физиологической, класс ОВ по преобладающему виду поражающего действия разделяется на шесть групп:

нервнопаралитические (VX, GB, GD);

кожно-нарывные (HD, HN);

общеядовитые (АС, СК);

удушающие (CG);

психохимические (BZ);

раздражающие (CN, DM, CS, CR).

Таблица 1.9.

Классификация отравляющих веществ

Тактическая	Физиологическая		Условные названия и шифры
ОВ смертельного действия	Нервно-паралитического действия		Зарин (GB)
			Зоман (GD)
			Ви-экс (VX)
	Кожно-нарывного действия		Иприт (H, HD)
			Люизит (L)
	Общеядовитого действия		Синильная кислота (AC)
			Хлорциан (CK)
	Удушающего действия		Фосген (CG)
			Дифосген (DP)
ОВ, временно выводящие из строя	Психотропного действия (инкапаситанты, психотомиметики)		Би-зед (BZ)
			LSD-25
	Раздражающего действия (ирританты)	Лакриматоры	Си-эс (CS)
			Си-ар (CR)
			Хлорацетофенон (CN)
			Хлорпикрин (PS)
		Стерниты	Адамсит (DM)
			Дифенилхлорарсин (DA)
			Дифенилцианарсин (DC)

Группа ОВ нервнопаралитического действия объединяет соединения (VX, GB, GD), специфически нарушающие нормальное функционирование нервной системы с появлением судорог, переходящих в параличи. К данной группе относятся производные фосфорной и алкилфосфоновых кислот, которые имеют второе название фосфорорганические отравляющие вещества (ФОВ). Данные ОВ представляют собой прозрачные бесцветные (слегка желтоватые) жидкости без запаха, GD с камфарным запахом.

Отравляющее вещество VX – одно из основных веществ смертельного действия, предназначенное для уничтожения живой силы. Считается, что в виде тонкодисперсного аэрозоля VX эффективно действует через органы дыхания, в виде грубодисперсного аэрозоля и капель – действует через кожные покровы и одежду, а также на длительное время заражает местность, вооружение, технику и открытые источники воды. По сравнению с другими ФОВ для VX характерна более высокая кожно-резорбтивная токсичность и быстрое всасывание через кожные покровы.

Причиной высокой токсичности ФОВ является химическое связывание ими холинэстеразы с образованием фосфорилированного фермента, следствием чего является потеря ферментом каталитической активности. Тяжесть поражения веществом GB и другими ФОВ определяется степенью связывания ими холинэстеразы, регулирующей процесс передачи нервных импульсов.

Признаки поражения: миоз, слюноотделение, потливость, спазм кровеносных сосудов, бронхов, легких и сердечной мышцы, одышка, затруднение дыхания, болевые ощущения в груди и в области лба, общая слабость и ослабление сознания, тошнота и рвота, моче- и калоотделение, удушье и судороги.

При появлении первых признаков поражения необходимо предотвратить дальнейшее поступление ОВ в организм (надеть противогаз на пораженного) и ввести подкожно или внутримышечно антидот (атропин, афин, будаксим) из шприц-тюбика.

Содержимое шприц-тюбика, введенное не позднее чем через 10 мин после поражения, способно нейтрализовать одну смертельную дозу ОВ.

К группе ОВ кожно-нарывного действия относят иприт, люизит (HD, L), представляющие собой бесцветные, высококипящие, маслянистые жидкости.

Иприт является ферментным ядом, нарушающим процесс энергоснабжения клеток и всего организма. Кожно-нарывное действие иприта обусловлено взаимодействием ОВ со структурными белками клеточных мембран. Попадание на кожу капель или аэрозоля иприта, равно как и контакт кожных покровов с парообразным ОВ, первоначально не вызывает никаких неприятных ощущений. В течение первых 2…5 мин иприт преодолевает верхние слои кожи, через 7…10 мин он растворяется в подкожной жировой клетчатке, а через 20…30 мин полностью всасывается и попадает в кровяное русло.

Признаки поражения проявляются в воспалении кожных покровов различной степени – от покраснения до образования гнойных инфильтратов, переходящих в язвы. ОВ кожно-нарывного действия обладают также общеядовитым действием за счет всасывания их через кожу в кровь.

Иприт обладает многообразным действием на организм человека, и это является основной причиной отсутствия антидотов против него и сложности лечения поражений.

Очень чувствительны к иприту глаза. При попадании в глаза капель или аэрозоля ОВ уже через 30 мин появляются чувство жжения, зуд и усиливающиеся боли. Поражение быстро развивается в глубину и большей частью завершается потерей зрения. Иприт обладает кумулятивными свойствами.

Противогаз надежно защищает от иприта органы дыхания и глаза. Для предотвращения местного и общего поражения через кожу необходима специальная защитная одежда, так как иприт через 3 ч проникает через хлопчатобумажное обмундирование. Видимые капли или грубодисперсный аэрозоль иприта, попавшие на кожу и одежду, необходимо удалить тампоном и обработать эти места из индивидуального противохимического пакета или растворами солей монохлорамина.

К группе ОВ общеядовитого действия относятся синильная кислота (АС), хлорциан (СК), представляющие собой бесцветные, высоколетучие жидкости. Синильная кислота и хлорциан специфично действуют на цитохромоксидазу и нарушают тканевое дыхание на этане усвоения кислорода клетками.

При вдыхании их паров последовательно проявляются ощущение горечи и металлического вкуса во рту, чувство першения в горле, тошнота, головная боль, слабость, одышка, судороги, потеря сознания и смерть от паралича сердечной деятельности.

Для обезвреживания АС, СК возможно использование веществ, легко реагирующих с ними с образованием неядовитых продуктов: коллоидной серы и тиосульфата натрия Na2S2O3, превращающих цианиды в нетоксичную роданистоводородную кислоту.

Современный фильтрующий противогаз надежно защищает органы дыхания от воздействия АС и СК, при поражении ими следует применять антидот – амилнитрит.

В группу веществ удушающего действия входят ОВ с высокой летучестью (CG и DP) которые при вдыхании взаимодействуют с функциональными группами клеток, образующих стенки лёгочных альвеол, что приводит к повышению их проницаемости и заполнению плазмой крови. Более 30 % плазмы крови переходит в легкие, которые разбухают и увеличиваются в массе, нормальный газообмен в легких нарушается и возникает токсический отек.

Фосген (CG) – бесцветный газ, тяжелее воздуха с неприятным запахом прелого сена или гнилых яблок.

Признаки поражения: металлический привкус во рту, першение в горле, ярко-розовая окраска слизистых оболочек и кожи лица, тошнота, рвота, боль и чувство стеснения в груди, расширение зрачков глаз, судороги и остановка дыхания.

Защита – противогаз, для нейтрализации фосгена рекомендуются вода, растворы щелочей и щелочные отходы производства, газообразный аммиак и его водные растворы.

К ОВ, временно выводящим живую силу из строя относятся вещества психотропного действия (инкапаситанты) и раздражающего действия (ирританты).

Инкапаситанты (BZ и LSD) способны вызвать у здоровых людей психические аномалии или физическую неспособность к выполнению стоящих перед ними задач. По внешнему виду – это белые кристаллические или бесцветные вещества без вкуса и запаха.

Признаки поражения проявляются в расширении зрачков, сухости во рту, учащении сердцебиения, головокружении, мышечной слабости. Через 30…60 мин наблюдаются ослабление памяти и внимания, снижение реакции на внешние раздражители. Пораженный теряет ориентацию, возникают явления психомоторного возбуждения, периодически сменяющиеся галлюцинациями. Контакт с окружающим миром теряется. Психотоксический эффект продолжается 1…4 суток в зависимости от дозы и состояния пораженного.

Ирритантами являются вещества, раздражающие слизистые оболочки глаз, верхних дыхательных путей, а иногда и кожных покровов. Они в свою очередь подразделяются на лакриматоры и стерниты.

К лакриматорам, или слезоточивым веществам (CS, CR, CN и PS), относят соединения, действующие на чувствительные нервные окончания слизистых оболочек глаз и вызывающие обильное слезотечение.

При контакте с поверхностью кожи в высоких концентрациях возможно развитие эритемы. Жжение и зуд кожи, особенно потной или разгоряченной, являются первыми признаками, которые наступают сразу после попадания в зараженную атмосферу.

Стернитами или чихательными веществами (DM, DA, DC) называют химические соединения, преимущественно действующие на чувствительные нервные окончания слизистых оболочек верхних дыхательных путей и вызывающие раздражение полости носоглотки, сопровождаемое неудержимым чиханием, кашлем и загрудинными болями.

В тяжелых случаях возможны поражения дыхательного тракта, приводящие к токсическому отеку легких.

Надежной защитой от ОВ, временно выводящих живую силу из строя служит противогаз, а иногда средства защиты кожи.

Токсинами называют химические вещества белковой природы растительного, животного, микробного или иного происхождения, обладающие высокой токсичностью и способные при их применении оказывать поражающее действие на организм человека и животных.

До настоящего времени токсины еще нередко относят к биологическому оружию, основываясь на том, что продуцентами наиболее эффективных, с военной точки зрения, токсинов являются бактерии. Однако в отличие от биологических организмов токсины нежизнеспособны. Токсинные поражения не являются инфекционными за-

болеваниями, то есть не передаются другим людям и животным, а сам токсин образуется задолго до того, как он проник в организм.

Основным назначением токсинов является уничтожение или временное выведение из строя живой силы, при этом она может быть защищена противогазами и средствами защиты кожи.

В зависимости от источника происхождения все токсины подразделяются на три группы:

фитотоксины – токсины растительного происхождения, продуцируемые отдельными растениями;

зоотоксины – токсины животного происхождения, продуцируемые некоторыми видами животных и входящие в состав яда этих животных, нередко выделяемого во внешнюю среду;

микробные токсины, вырабатываемые многими видами микроорганизмов и являющиеся причиной отравлений и заболеваний.

В зависимости от роли токсина в жизнедеятельности организма-продуцента (в основном это относится к бактериям) различают две группы токсинов: эндотоксины и экзотоксины. Эндотоксины – продукты обмена веществ, функционирующие внутри клеток в качестве метаболитов. Они выделяются во внешнюю среду только после гибели клеток, например, после разложения микроорганизмов. Экзотоксины также вырабатываются при внутриклеточном обмене веществ, но выделяются клетками-продуцентами в окружающую среду в процессе жизнедеятельности. Обычно экзотоксины – это белки, которые сохраняют свою биоактивность вне клетки. Наиболее распространенным экзотоксином является ботулинический (XR)

В качестве табельных фитотоксикантов на вооружении армии США состоят три основные рецептуры: «оранжевая» («orange»), «белая» («white») и «синяя» («blue»). Особую опасность для человека и животных представляет диоксин – технологическая примесь «оранжевой» рецептуры.

Для оценки поражающего действия ХО существуют количественные показатели – это концентрация ОВ, плотность заражения и дозы ОВ.

Основным количественным показателем является *концентрация ОВ*, т. е. его количество в том или ином боевом состоянии, содержащееся в единице объема среды. При этом среда может быть газообразной (воздух), жидкой (вода или другие растворители) и твердой (грунт, лакокрасочные покрытия и другие пористые материалы). Обычно концентрация обозначается через С и имеет размерность г/м^3 или мг/м^3.

Дозы ОВ и плотность заражения - это интегральные количественные показатели, связанные с концентрацией ОВ.

Существуют пути проникновения ОВ внутрь организма: ингаляционный – через органы дыхания, кожно-резорбтивный – через кожные покровы и пероральный (или алиментарный) – через желудочно-кишечный тракт.

Доза вещества, вызывающая определенный токсический эффект, называется токсической дозой (D).

Токсическая доза, вызывающая равные по тяжести поражения, зависит от свойств ОВ, условий применения и пути проникновения в организм. В зависимости от пути поступления в организм различают кожно-резорбтивные, пероральные и ингаляционные токсодозы. Кожно-резорбтивные и пероральные токсодозы измеряются в миллиграммах на килограмм веса (мг/кг), ингаляционные – в мг·с/м3. Все токсодозы подразделяются на смертельные (LD - кожно-резорбтивные и пероральные, LCτ – ингаляционные), выводящие из строя (JD, JCτ) и пороговые (PD, PCτ). При оценке эф-

фективности ОВ обычно используют числовые значения доз, приводящие к поражению в 50 % случаев LD50, JD50, PD50, LCτ50, JCτ50, PCτ50 (средние смертельные, средние выводящие из строя, средние пороговые).

В табл. 1.10, 1.11 приведены токсические характеристики ОВ. Значения кожно-резорбтивных токсодоз справедливы для бесконечно большой экспозиции, т. е. когда попавшее на кожу ОВ не удаляется и не дегазируется.

Токсичность ОВ, поражающих людей ингаляционным путем, оценивается величиной концентрации С пара или тумана, приводящей

Таблица 1.10.

Значения токсодоз ОВ кожно-резорбтивного действия в мг/чел.

Отравляющие вещества	При действии через открытые кожные покровы			При действии через обмундирование
	LD_{50}	JD_{50}	PD_{50}	JD_{50}
VX	6…10	3…5	0,1	100
Зоман	49…98	28	1,4	-
Иприт	$4{,}9.10^3$	350	2,1	1400

при данной экспозиции и объеме легочной вентиляции к поражению той или иной степени тяжести. Токсичность ОВ при ингаляции зависит от физической нагрузки на человека. С увеличением интенсивности дыхания возрастает и быстродействие ОВ. Для зарина при легочной вентиляции 10 л/мин и 40 л/мин значения LCt50 составляют соответственно 0,07 мг мин/л и 0,025 мг мин/л.

Таблица 1.11.

Значения средних ингаляционных токсодоз в кг·с/м^3·10^3

ОВ	Токсодозы		
	LCt_{50}	JCt_{50}	PCt_{50}
VX	0,6…2,7	0,3…1,35	0,015…0,02
Зоман	1,5…3,0	0,7…1,5	0,03
Зарин	3,0…6,0	1,5…3,0	0,12
Иприт	90	27	1,9
Фосген	190	96	43
Хлорциан	660	420	-
Адамсит	90	0,5…1,5	-
Си - эс	1800…3650	0,6…1,2	3

1.2.2. Средства и способы применения отравляющих веществ и способы защиты от них

Средства, предназначенные для боевого применения ОВ, относятся к химическим средствам поражения. Это совокупность химических боеприпасов и боевых приборов различного типа, предназначенных для применения носителями, обеспечивающими их доставку к объекту поражения.

Химический боеприпас - боевое средство однократного использования, предназначенное для перевода ОВ в боевое состояние (химические снаряды, химические авиационные бомбы, химические кассетные элементы, химические боевые части ракет, химические фугасы, химические шашки, гранаты и патроны).

Химический боевой прибор - боевое средство многократного использования, предназначенное для перевода ОВ в боевое состояние (выливные авиационные приборы и механические генераторы аэрозолей ОВ).

По средствам доставки химических боеприпасов и боевых приборов к поражаемой цели различают:

химические боеприпасы артиллерии (ствольной и реактивной);

химические боевые части (ХБЧ) ракет;

химические боеприпасы и боевые приборы авиации.

Ствольная артиллерия армии США имеет на вооружении химические снаряды, снаряженные жидкими и твердыми ОВ. Химические снаряды реактивной артиллерии снаряжаются только жидкими ОВ нервно-паралитического действия (табл. 1.12).

Артиллерийские химические снаряды, снаряженные твердыми ОВ типа CS, представляют собой боеприпасы кассетного типа дистанционного действия.

Таблица 1.12.

Химические боеприпасы артиллерии

<table>
<tr><th rowspan="2">Калибр боеприпаса</th><th colspan="2">Шифр</th><th rowspan="2">Масса ОВ в боеприпасе, кг</th><th rowspan="2">Взрыватель</th></tr>
<tr><th>боеприпаса</th><th>ОВ</th></tr>
<tr><td rowspan="3">105 – мм снаряд</td><td>М60</td><td>HD</td><td>1,36</td><td>К*</td></tr>
<tr><td rowspan="2">М360</td><td>GB</td><td>0,75</td><td>К</td></tr>
<tr><td>CS</td><td>1,50</td><td>Д</td></tr>
<tr><td rowspan="4">155 – мм снаряд</td><td>М110</td><td>YD</td><td>5,31</td><td>К</td></tr>
<tr><td>М122</td><td>GB</td><td>2,95</td><td>К</td></tr>
<tr><td>М121</td><td>VX</td><td>2,70</td><td>НК</td></tr>
<tr><td>ХМ631</td><td>CS</td><td>4,50</td><td>Д</td></tr>
<tr><td rowspan="2">203,2 – мм снаряд</td><td rowspan="2">М426</td><td>GB</td><td>7,20</td><td>К</td></tr>
<tr><td>VX</td><td>6,40</td><td>НК</td></tr>
<tr><td rowspan="2">115 – мм РС к РСЗО М 91</td><td rowspan="2">МК55</td><td>GB</td><td>4,80</td><td>К</td></tr>
<tr><td>VX</td><td>4,54</td><td>НК</td></tr>
<tr><td>127 – мм РС к 48 ствольной РСЗО М105 (ВМС)</td><td>МК53</td><td>GB</td><td>1,50</td><td>К</td></tr>
</table>

Примечание *) К – контактный, НК – неконтактный, Д – дистанционный, РС – реактивный снаряд, РСЗО – реактивная система залпового огня.

Большая насыщенность войск артиллерией, ее надежность, значительная дальность и точность стрельбы, маневренность, готовность ведения огня в любых метеорологических условиях привлекают и в настоящее время военных специалистов к ней как одному из надежных средств применения химического оружия.

Химические боевые части (ХБЧ) управляемых и неуправляемых тактических ракет представляют собой боеприпасы кассетного типа, которые содержат химические кассетные элементы – бомбы малого калибра (БМК).

Химическая боевая часть ракеты может иметь один и более взрывателей. По принципу действия они могут быть механическими, барометрическими или радиолокационными; по расположению – головными или донными.

Площадь рассеивания БМК от одиночной ХБЧ ракеты зависит от фактической высоты ее вскрытия. С увеличением высоты вскрытия площадь рассеивания БМК увеличивается, а вероятность поражения личного состава на этой площади уменьшается.

Основными средствами применения ОВ ВВС армии США являются химические авиационные бомбы (ХАБ), кассеты и выливные авиационные приборы (ВАП). Химические боеприпасы и боевые приборы авиации предназначены для поражения личного состава, заражения вооружения, военной техники и местности.

ХАБ конструктивно делятся на бомбы крупного и малого калибра.

Авиационные химические кассеты предназначены для поражения личного состава до надевания противогазов в результате разрывов кассетных малогабаритных бомб (кассетных боевых элементов) на площади поражаемой цели.

По способу применения авиационные химические кассеты классифицируются на сбрасываемые и несбрасываемые. Сбрасываемая кассета при бомбометании отделяется от самолета и по истечении определенного времени срабатывает на некоторой высоте с выбросом кассетных элементов, имеющих в большинстве случаев контактные взрыватели.

Основным элементом конструкции несбрасываемых кассет является кассетная установка типа SUU-13/A (США), имеющая 40 цилиндрических направляющих, оборудованных таким же количеством электроразъемов для соединения цепей отстреливания каждого кассетного элемента.

Выливные авиационные приборы ВВС и ВМС США – боеприпасы цилиндрической формы с обтекаемой головкой и хвостовой частью. Относятся к химическим средствам поражения бакового типа. Предназначены для поражения личного состава, заражения вооружения, военной техники и местности грубодисперсным аэрозолем ОВ VX, HD и вязким GB. Перевод ОВ в боевое состояние с помощью ВАП основан на механическом способе диспергирования жидких ОВ под давлением встречного потока воздуха.

На вооружении ВВС и ВМС соответственно находятся ВАП TMU-28/B и Aero-14B/C.

Применение с помощью ВАП Aero-14B/C вязкого GB предполагает заражение территорий военно-морских баз, стоянок боевых кораблей и транспорта с целью поражения личного состава в результате создания опасных концентраций ОВ при его испарении с зараженных поверхностей. Выливной авиационный прибор Aero-14B/C имеет автономный источник давления (сжатый воздух или инертный газ).

Химические фугасы, термические (шашки, гранаты и патроны) и механические генераторы аэрозоля относятся к химическим средствам поражения ближнего боя при непосредственном соприкосновении с боевым порядком войск противостоящей стороны.

Химические фугасы предназначены для создания химического заражения местности, усиления минных полей и других инженерных заграждений с целью затруднения их преодоления.

На вооружении армии США находятся химический фугас ABC M23, созданный на базе противотанковой мины. Снаряжается VX в количестве 5,28 кг. Фугас обеспечен устройством, позволяющим производить его подрыв на поверхности земли и на некоторой высоте с образованием зараженного участка соответственно от 500 м2 до 2000 м2.

Химические шашки, гранаты и патроны относятся к химическим средствам поражения, принцип действия которых основан на использовании термического способа перевода ОВ в боевое состояние и предназначены для поражения незащищенного

личного состава раздражающими и временно-выводящими из строя ОВ в виде тонкодисперсного аэрозоля с размерами частиц 1,5-5 мкм.

Механические генераторы аэрозолей ОВ предназначены для поражения незащищенного личного состава при распылении сухих или жидких рецептур раздражающих ОВ и их распространения в приземном слое атмосферы под воздействием направленного потока воздуха.

Основными элементами конструкции данных средств применения ОВ являются резервуар, источник давления и распыляющее устройство.

Способы применения ХО зависят от выполняемых задач противником при ведении наступательных и оборонительных действий и применяемого типа ОВ. ХО может применяться артиллерией, авиацией, ракетами с ХБЧ.

Применение артиллерией химических боеприпасов с GB осуществляется для решения задачи поражения личного состава и населения с учетом состояния его защищенности на поражаемой цели двумя способами:

проведением кратковременных огневых налетов (залпов), рассчитанных на поражение личного состава до надевания противогазов (15 или 30 с огневые налеты);

проведением более длительных огневых налетов, рассчитанных на поражение личного состава при полной экспозиции воздействия ОВ (не более 5 мин).

При применении химических боеприпасов с VX учитывается не только требуемое время выхода из строя личного состава, но и наличие у него того или иного вида защитной одежды, так как от нее зависит продолжительность огневых налетов и нормы расхода боеприпасов. С учетом этого предусматривается проведение огневых налетов разной продолжительности: от одного до 16 залпов дивизионом 155-мм гаубиц и до 8 залпов батарей 203,2 мм гаубиц.

Задачи, выполнение которых предусматривается с использованием боеприпасов с HD, не отличается от задач и способов их решения, указанных для VX.

Химические удары на поражение целей при применении ракет с ХБЧ кассетного типа в снаряжении GB осуществляется пуском 1-2 ракет по цели размером до 1 км2. Поражение личного состава могут достигаться до надевания противогазов.

При применении двух ракет прицеливание может быть по центру цели или каждой ракетой по заданной точке прицеливания относительно центра площади цели. Максимальный эффект удара достигается изменением высоты вскрытия химической боевой части.

Применение ХО авиацией может осуществляться группами самолетов в составе 2-6 самолетов и более и с помощью вертолетов. При применении химических боеприпасов авиации в снаряжении GB для нанесения удара выбираются цели, размером до 1 км^2, что является характерным в основном при применении ХАБ МС-1, МК-94 и МК-116. Способы боевых действий авиации при их применении существенно не отличаются от способов нанесения авиационных ударов обычными боеприпасами.

Перспективным и опасным рассматривается применение GB с помощью автоматических кассет типа CBU-15/A на предельно малых высотах. При скорости самолета 200 м/с и более обеспечивается 12 метровый интервал отстреливания кассетных элементов при одновременной работе двух и более кассетных установок. Это позволяет создать практически сплошное облако паров GB на площади поражаемой цели.

Применение авиацией VX осуществляется с помощью выливных авиационных приборов TMU-28/B и Aero-14B. Химический удар может быть нанесен одним самолетом и группой в составе двух, четырех и более. Размеры площади поражения зависят от количества самолетов, количества применяемых ВАПов и способа применения.